



DLR

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Handout

# **Integrative Bewertung von Umweltmaßnahmen**

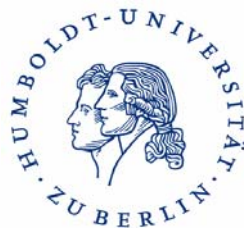
**Anwendung *multikriterieller Bewertungsverfahren*  
zur Entscheidungsunterstützung**

**Workshop am 16. November 2006  
DLR Berlin-Adlershof**

**- Präsentationen -**

**Institut für Verkehrsforschung**

in Zusammenarbeit mit:



## **Veranstaltungsorganisation:**

**Herr Dipl.-Geogr. Ralf Hedel**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Institut für Verkehrsforschung

Rutherfordstr. 2

12489 Berlin

Tel.: (030) 67055 447

Fax: (030) 67055 8 447

Email: ralf.hedel@dlr.de

Homepage: <http://www.dlr.de/vf>

**Frau Prof. Dr. Barbara Lenz**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**

Institut für Verkehrsforschung

Email: barbara.lenz@dlr.de

**Herr Prof. Dr. Harald Mieg**

**Humboldt-Universität zu Berlin**

Geographisches Institut

- Metropolen- und Innovationsforschung -

Email: harald.mieg@env.ethz.ch

Homepage: <http://www.geographie.hu-berlin.de>

**Frau Dr. Ute Simon**

**Universität Hannover**

Institut für Meteorologie und Klimatologie

Email: ute.simon@klimafolgenmanagement.de

Homepage: <http://www.muk.uni-hannover.de>

## **Veranstaltungsort:**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Seminarraum „Rotunde“

Rutherfordstr. 2

12489 Berlin

## Vorträge

	Seite
Vorwort	2
<b>Dipl.-Math. techn. Valentin Bertsch (Universität Karlsruhe):</b> Einsatz multiattributiver Entscheidungsverfahren zur Bewertung von Sanierungsmaßnahmen	3
<b>Dr. Michael Stauffacher (ETH Zürich):</b> Stakeholder based MCA: Der gegenseitige Lernprozess von Wissenschaft und Praxis in Fallstudien zu nachhaltiger Entwicklung	15
<b>Dr. Martin Drechsler (UFZ Leipzig):</b> Erweiterungen des PROMETHEE-Verfahrens zur Berücksichtigung von Unsicherheit	28
<b>Dr. habil. Nguyen Xuan Thinh (IÖR Dresden):</b> Die Verwendung des AHP zur Standortbewertung	41
<b>Dipl.-Geogr. Ralf Hedel (DLR Berlin):</b> Das Verfahren ELECTRE III zur Bewertung von Verkehrsprojekten	57
Teilnehmerliste	67

## Vorwort

Der Workshop richtet sich an Entscheidungsträger, die mit komplexen Bewertungsaufgaben bzw. Entscheidungsprozessen betraut sind.

In vielen Bereichen der Planung müssen Entscheidungen unter Berücksichtigung einer Vielzahl von zum Teil widersprüchlichen Interessen und Zielsetzungen getroffen werden. Die für die Entscheidung zur Verfügung stehenden Informationen und Daten sind dabei häufig lückenhaft und durch Ungenauigkeit bzw. Unsicherheit gekennzeichnet.

Eine in der Wissenschaft und Praxis anerkannte Vorgehensweise zur Lösung von Mehrkriterienentscheidungen unter Unsicherheit ist die Entwicklung von alternativen Planungsszenarien, die durch einen Satz von entscheidungsrelevanten Indikatoren vergleichend bewertet werden. Der Entscheidungsprozess selbst kann dabei wirksam durch sogenannte multikriterielle Bewertungsverfahren (*MCDA - Multiple Criteria Decision Aiding*) unterstützt werden. Ursprünglich in der Unternehmensforschung entwickelt, werden MCDA-Verfahren weltweit zunehmend im Bereich der Umweltplanung eingesetzt.

Die Zielstellung des Workshops bestand darin, die gebräuchlichsten MCDA-Verfahren vorzustellen, ihre methodischen Charakteristika aufzuzeigen, die zu ihrer Anwendung notwendigen Arbeitsschritte darzulegen und somit den Entscheidungsträger in die Lage zu versetzen, ein geeignetes MCDA-Verfahren auswählen zu können.

Im vorliegenden Band sind die PowerPoint-Präsentationen aller Referenten zusammengefasst.



# **Einsatz multiattributiver Entscheidungsverfahren zur Bewertung von Sanierungsmaßnahmen**

***Workshop zur Integrativen Bewertung von Umweltmaßnahmen –  
Anwendung multikriterieller Bewertungsverfahren zur  
Entscheidungsunterstützung***

**DLR Berlin-Adlershof, 16. November 2006**

Valentin Bertsch, Jutta Geldermann, Otto Rentz  
Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)



Universität Karlsruhe (TH)  
Forschungsuniversität · gegründet 1825

Institut für Industriebetriebslehre  
und Industrielle Produktion (IIP)

## **Einsatz multiattributiver Entscheidungsverfahren zur Bewertung von Sanierungsmaßnahmen**

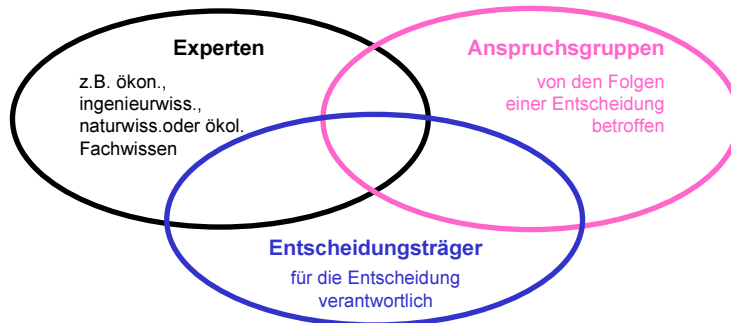
- Einführung
  - Motivation: komplexe Entscheidungssituationen
  - Multiattributive Entscheidungsverfahren zur Bewertung alternativer Maßnahmen im nuklearen Notfallmanagement
- Hauptschritte der MAVT-Analyse anhand eines fiktiven Fallbeispiels (Unfallszenarios)
  - Zieldefinition / Problemstrukturierung
  - Ermitteln der Präferenzen
  - Darstellung der Ergebnisse und Sensitivitätsanalysen
  - Unterstützung von Gruppenentscheidungsprozessen
- Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten
  - Klassifizierung von Unsicherheiten
  - Modellierung und Fortpflanzung von Unsicherheiten der Eingangsdaten
- Zusammenfassung



Universität Karlsruhe (TH) | Institut für Industriebetriebslehre  
Forschungsuniversität · gegründet 1825 | und Industrielle Produktion (IIP)

2

## Komplexe Entscheidungssituationen erfordern eine Berücksichtigung unterschiedlicher (konfliktärer) Aspekte



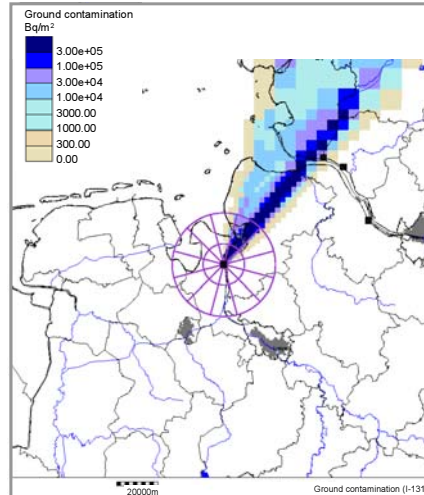
- Notwendigkeit eines „Moderators“ sowie geeigneter Methoden
- Mehrzielentscheidungsunterstützungsmethoden ermöglichen
  - eine aggregierte Betrachtung verschiedener Aspekte
  - Miteinbeziehen der subjektiven Präferenzen der Entscheidungsträger
  - und tragen zu mehr Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Entscheidungsprozessen bei

## Klassifizierung von multikriteriellen Entscheidungsunterstützungsmethoden

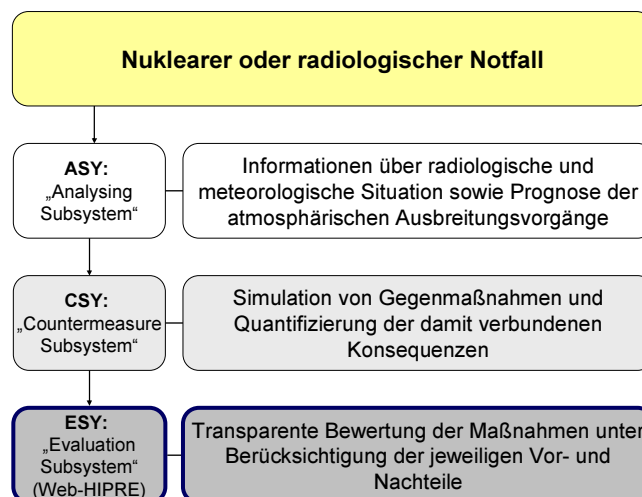
MCDM Multikriterielle Entscheidungsunterstützung		
MODM-Methoden “Multi Objective Entscheidungen” Kontinuierlicher Lösungsraum	MADM-Methoden “Multi Attribute Entscheidungen” Diskreter Lösungsraum	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vektoroptimierung</li> <li>• “Goal Programming”</li> <li>.....</li> </ul>	<b>Klassische (Amerik.) Ansätze</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Multi Attribute Value / Utility Theorie (MAVT / MAUT....)</li> <li>• AHP</li> <li>.....</li> </ul>	<b>Outranking (Europ.) Ansätze</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ELECTRE</li> <li>• PROMETHEE</li> <li>• ORESTE</li> <li>.....</li> </ul>

## Die Ansätze werden beispielhaft anhand eines fiktiven nuklearen Unfallszenarios dargestellt

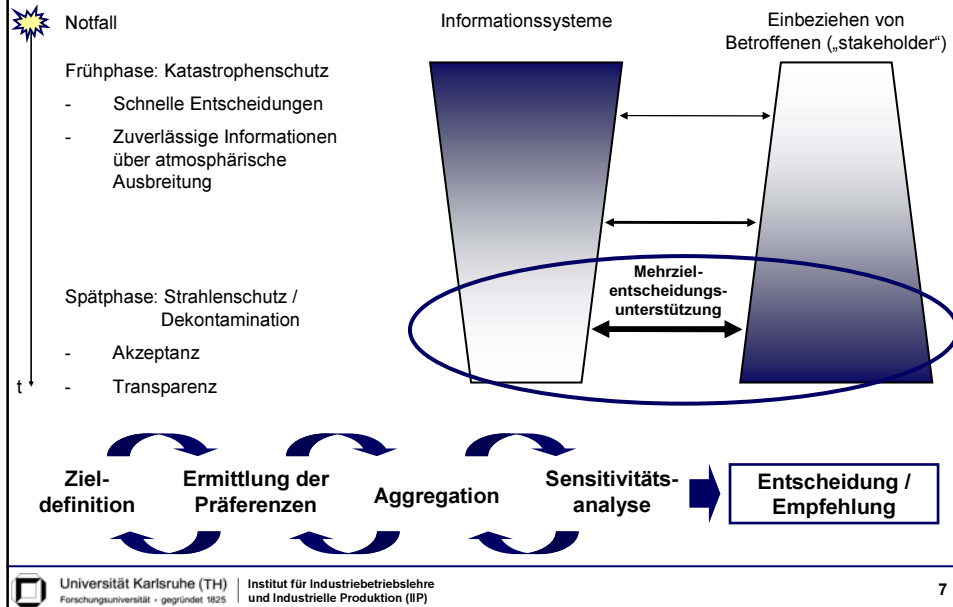
- Meteorologische und radiologische Situation:
  - Unfall mit Schnellabschaltung des Reaktors
  - Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Atmosphäre (4 h nach Unfall, Dauer: 3 h)
  - Inhomogene Kontamination aufgrund von Niederschlägen und Gewitter während des Durchzugs der radioaktiven Wolke
- Katastrophenschutzmaßnahmen:
  - Alle notwendigen Maßnahmen wurden durchgeführt (inkl. Sofortmaßnahmen für Nahrungsmittel)
- Fokus: Diskussion von Maßnahmen für Milch



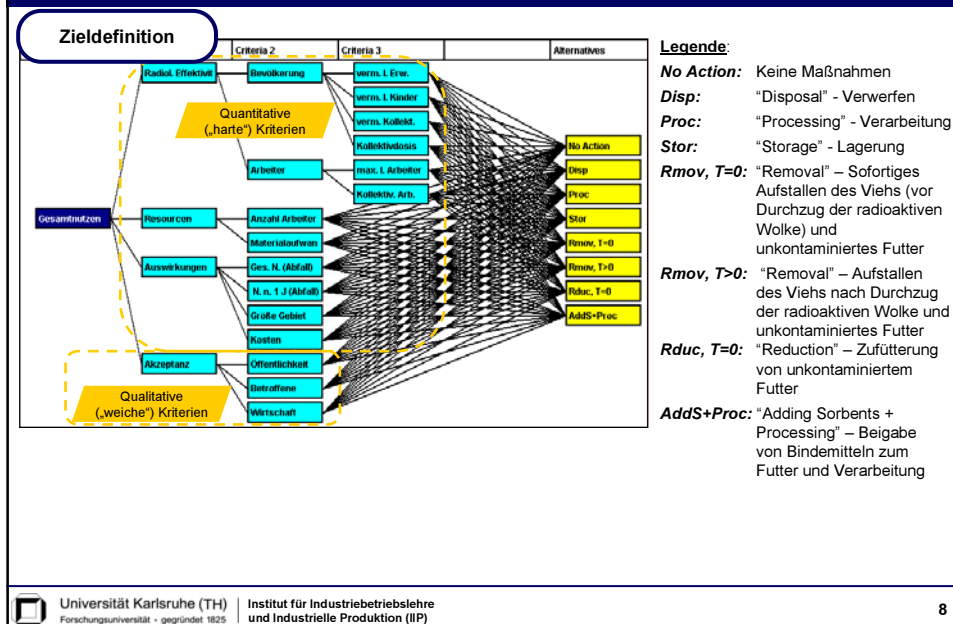
## Das "Real-time On-line Decision Support System for Nuclear Emergency Management" (RODOS) beinhaltet drei Teilsysteme



## Ansätze der Mehrzielentscheidungsunterstützung ermöglichen das Miteinbeziehen von Betroffenen und tragen zu mehr Transparenz bei



## Die Nutzwertanalyse ermöglicht eine systematische und strukturierte Entscheidungsunterstützung



## Die Nutzwertanalyse ermöglicht eine systematische und strukturierte Entscheidungsunterstützung

### Zieldefinition

Criteria 2

- Quantitative („harte“) Kriterien
  - Arbeitsl. Erw.
  - Arbeitsl. Ränder
  - Arbeitsl. Kollekt.
  - Kollekt. Arbeitsl.
  - max. L. Arbeiter
  - Kollekt. Arb.
- Personen
  - Anzahl Arbeiter
  - Materialeinsatz
  - Ges. N. (Abfall)
  - N. n. 1 J (Abfall)
  - Größe Gebiet
  - Kosten
  - Öffentlichkeit
  - Betroffene
  - Wirtschaft
- Auswirkungen
  - Arbeitsl.
  - Arbeitsl. Erw.
  - Arbeitsl. Ränder
  - Arbeitsl. Kollekt.
  - Kollekt. Arbeitsl.
  - max. L. Arbeiter
  - Kollekt. Arb.
- Akzeptanz
  - Arbeitsl.
  - Arbeitsl. Erw.
  - Arbeitsl. Ränder
  - Arbeitsl. Kollekt.
  - Kollekt. Arbeitsl.
  - max. L. Arbeiter
  - Kollekt. Arb.

**Gesamtnutzen**

Radiol. Effektivität 0.115  
Resourcen 0.200  
Auswirkungen 0.300  
Akzeptanz 0.385

### Auszug aus einer Entscheidungstabelle

	Action	Disp	Proc	Stor	Rmov, T=0
Anzahl Arbeiter	0	0	0	0	658
Materialaufwand	0	10	10	20	40
Ges. N. (Abfall)	1.12E+8	1.12E+8	1.61E+7	1.12E+8	4.86E+7
N. n. 1 Jahr (Abfall)	1.22E+5	1.22E+5	0	1.60E+3	3.12E+3
Größe Gebiet	2640	2640	1787	2640	179
Kosten	90	100	20	50	20
Öffentlichkeit	0	100	5	15	80
Betroffene	0	20	70	60	100
Wirtschaft	0	40	5	50	80

**Ermittlung der Präferenzen**

$w_j \in [0,1], \sum_{j=1}^n w_j = 1$

### Ermittlung der Präferenzen

$v_j : \begin{cases} R \rightarrow [0,1] \\ s_j(a) \mapsto v_j(s_j(a)) \end{cases}$

### Rmov, T>0: "Removal" – Aufstellen

Exponential ☒ Flip Vertical ☐ X 252 Min. 0.0  
Piecewise Linear ☐ Linearize ☐ Y 0.295 Max. 700.0  
Unit Arbeiter

Proc 0.0 1.000  
AddS+Proc 0.0 1.000  
Rmov, T>0 532.0 0.019  
Rmov, T=0 547.0 0.012  
Rmov, T=0 547.0 0.012

## Web-HIPRE stellt verschiedene Methoden zur Ermittlung der Gewichte zur Verfügung

### Priorities - Gesamtnutzen

Direct SMART SWING SMARTER AHP ValueIn Group

Radiol. Effektivität 0.115  
Resourcen 0.192  
Auswirkungen 0.308  
Akzeptanz 0.385

### Ermittlung der Präferenzen

Direktes Zuweisen der Gewichte (kardinale Gewichte)

### Priorities - Gesamtnutzen

Direct SMART SWING SMARTER AHP ValueIn Group

Rank attributes in the order of importance (Rank 1 = most important)

Rank	Weight
4	0.063

### Priorities - Gesamtnutzen

Direct SMART SWING SMARTER AHP ValueIn Group

1. Assign 100 points to the most important attribute (Rank = 1)  
2. Give points (<100) to reflect the importance of the attribute relative to the most important attribute

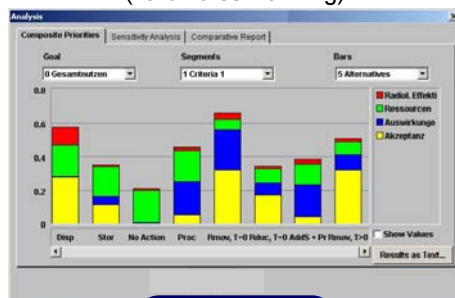
☒ Show Ranks

Rank	Points	Weight
4	30.0	0.115
3	50.0	0.192
2	80.0	0.308
1	100.0	0.385

### Der "SWING Weighting" Dialog

## Web-HIPRE stellt die Ergebnisse der Nutzwertanalyse graphisch dar und bietet die Möglichkeit, Sensitivitätsanalysen durchzuführen

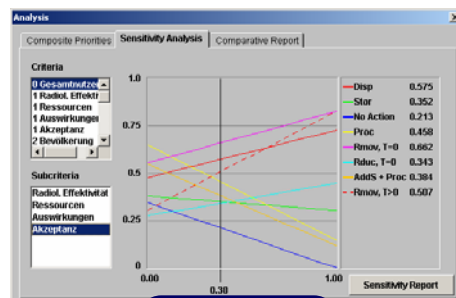
Ein Stapelbalkendiagramm zeigt die Gesamtnutzenwerte sowie die Beiträge der verschiedenen Kriterien (kardinales Ranking)



Aggregation

$$V(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(s_j(a))$$

Sensitivitätsanalysen geben Aufschluss über Stabilität bzw. Sensitivität der Ergebnisse gegenüber Parametervariationen

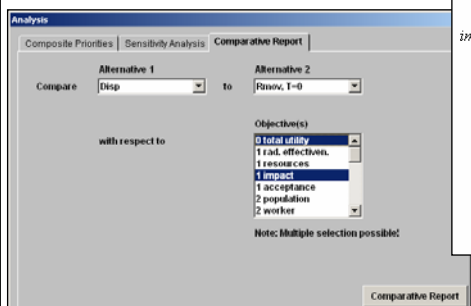


Sensitivitätsanalyse

## Der „Comparative Report“ interpretiert die Ergebnisse der MAVT-Analyse

### Der „Comparative Report“ ...

- ... ermittelt, um wie viel eine Alternative besser ist als eine Andere
- ... erfasst, ob ein Kriterium zur unterschiedlichen Bewertung zweier Alternativen beiträgt oder nicht
- ... identifiziert die wichtigsten Faktoren bei der Ermittlung der Rangfolge der Alternativen



### Comparative Report

Comparison of **disp** and **rmov, T=0** with respect to *impact*

#### impact

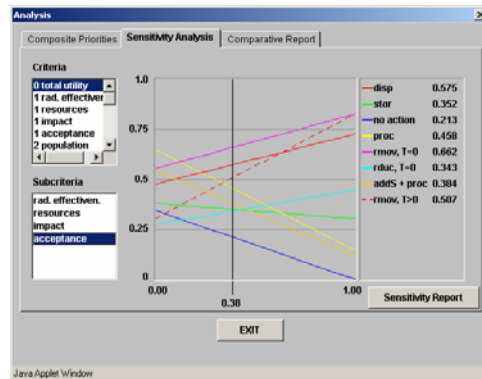
*impact* is a significant factor favouring **rmov, T=0** over **disp**.

- This judgement takes into account the effects of *total food above, size of aff. area, food above yr-1 and costs*.
- While *impact* is not particularly important in determining *total utility*, **disp** differs sufficiently from **rmov, T=0** on *impact* which makes it a significant factor in this case.
- disp** provides somewhat lower *impact* than **rmov, T=0**.
- rmov, T=0** is at least as good as **disp** on all subobjectives of *impact*.
- size of aff. area* provides the most important reason.
- impact* accounts for 30.77 percent of the determination of *total utility*.

## Der „Sensitivity Analysis Report“ interpretiert die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse bezüglich des Gewichts eines Kriteriums

### Der „Sensitivity Analysis Report“ ...

- ... erklärt den Graphen der Sensitivitätsanalyse
- ... zeigt die Auswirkungen der Veränderung des Gewichts eines Kriteriums
- ... gibt eine Gesamt-Einschätzung der relevanten Parameter des Entscheidungsmodells



### Sensitivity Analysis Report

#### Sensitivity Analysis for total utility on the weight of acceptance

This analysis examines how robust the choice of an alternative is to changes of the weight of acceptance.

The lines in the graph of the sensitivity analysis, each associated with one strategy, show the weighted scores of the (associated) strategies when the weight of acceptance is varied from 0% to 100%. The vertical line at 38.46 represents the status quo. The overall scores of the alternatives are:

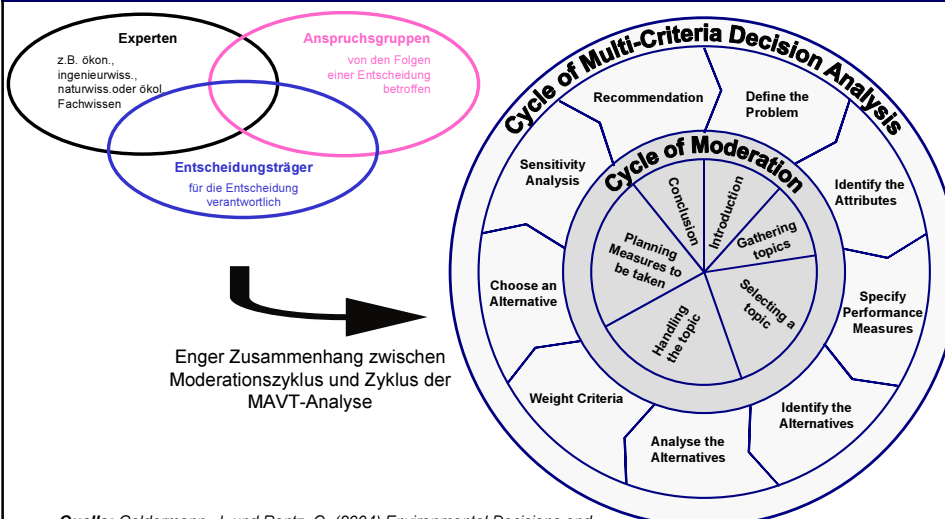
Alternative	Overall Score
disp	0.575
stor	0.352
no action	0.213
proc	0.458
rmov, T=0	0.662
rduc, T=0	0.343
addS + proc	0.384
rmov, T>0	0.507

The ranges of the weights of acceptance for which an alternative is the most preferred are:

Weight range	Alternative
0.00 - 12.18	proc
12.18 - 100.00	rmov, T=0

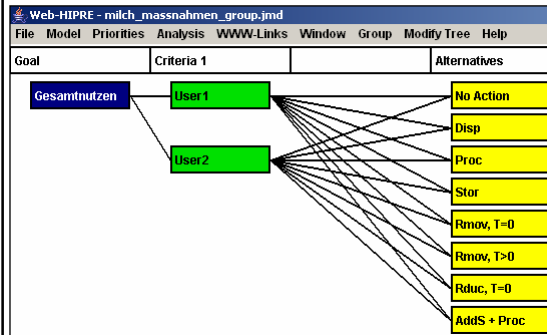
The percentage on acceptance can be changed by as much as 26.28% without changing the optimality of rmov, T=0.

## Aufgrund der Einfachheit und Transparenz der Methode ist MAVT generell gut zur Unterstützung von Gruppenentscheidungen geeignet



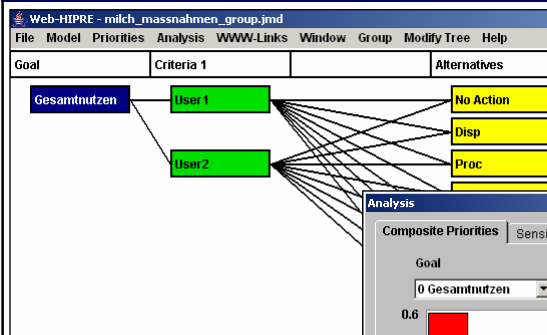
Quelle: Geldermann, J. und Rentz, O. (2004) Environmental Decisions and Electronic Democracy, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis.

## MAVT und Web-HIPRE bieten methodische Möglichkeiten zur Unterstützung von Gruppenentscheidungsprozessen



- Verschiedene Mitglieder einer Gruppe können z.B. Gewichte individuell bestimmen
- Alternativenmenge muss dazu identisch sein

## MAVT und Web-HIPRE bieten methodische Möglichkeiten zur Unterstützung von Gruppenentscheidungsprozessen

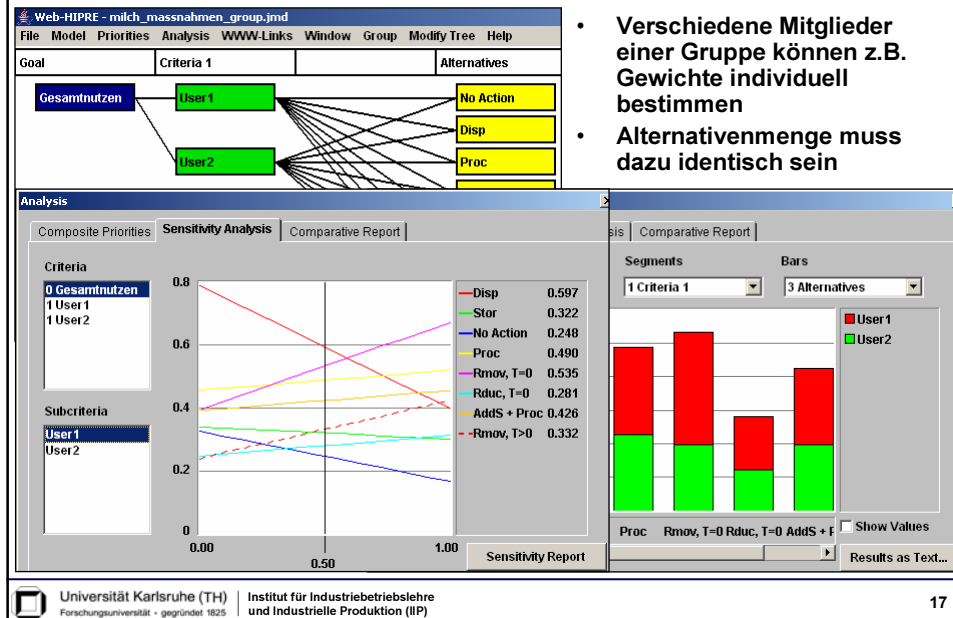


- Verschiedene Mitglieder einer Gruppe können z.B. Gewichte individuell bestimmen
- Alternativenmenge muss dazu identisch sein

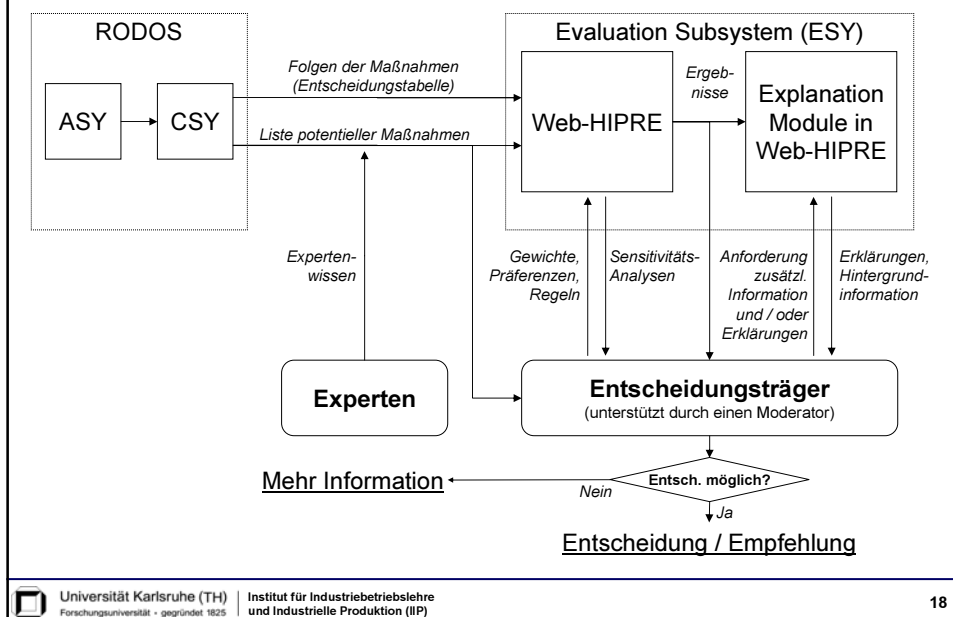


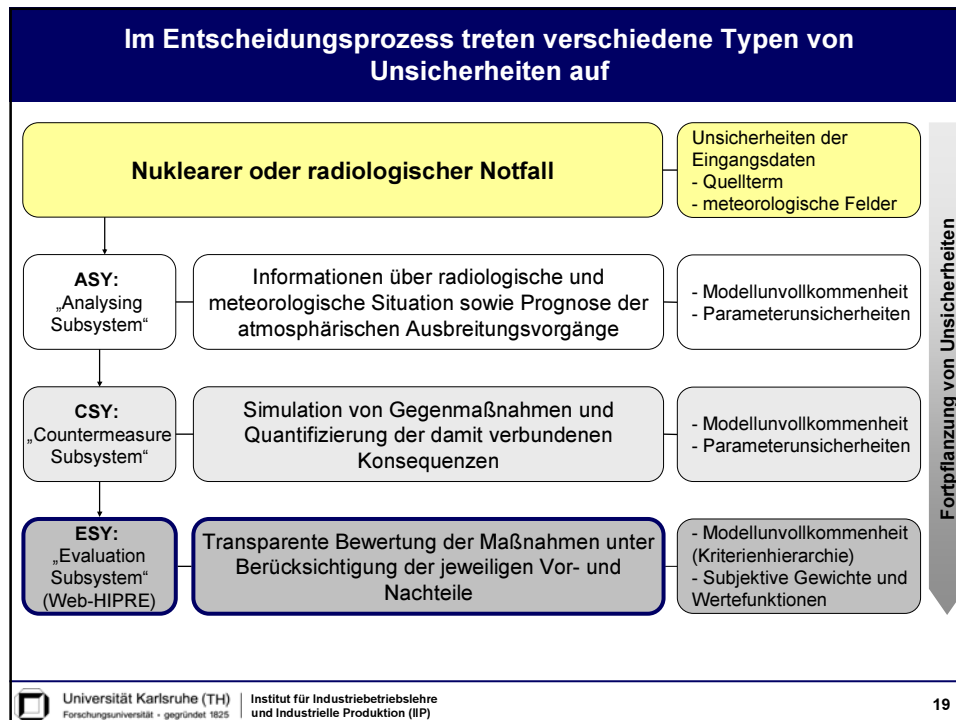


## MAVT und Web-HIPRE bieten methodische Möglichkeiten zur Unterstützung von Gruppenentscheidungsprozessen



## RODOS und Web-HIPRE bieten interaktive und iterative Entscheidungsunterstützung





## Neben Datenunsicherheiten sind Unsicherheiten bzgl. der subjektiven Entscheidungsparameter von Bedeutung

- Modellunsicherheiten (ASY)
- Unsicherheiten der Eingangsdaten
- Messunsicherheiten
- Unsicherheiten der CSY-Simulationen
- Unsicherheiten bzgl. der subjektiven Gewichte
- Unsicherheiten bzgl. der subjektiven Wertefunktionen

	No Action	Disp	Proc	Stor	...
Anzahl Arbeiter	0	0	0	0	...
Materialaufwand	0	10	10	20	...
Ges. N. (Abfall)	1.12E+8	1.12E+8	1.61E+7	1.12E+8	...
N. n. 1 Jahr (Abfall)	1.22E+5	1.22E+5	0	1.60E+3	...
Größe Gebiet	2640	2640	1787	2640	...
...	...	...	...	...	...

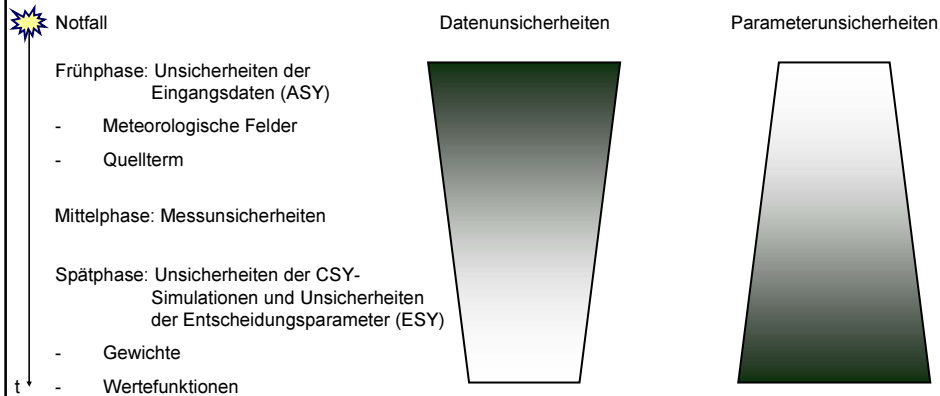
  

Radiol. Effekt	0.115
Ressourcen	0.200
Auswirkungen	0.300
Akzeptanz	0.385

Universität Karlsruhe (TH) | Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)

20

## Die verschiedenen Typen von Unsicherheiten sind in verschiedenen Phasen von unterschiedlicher Bedeutung

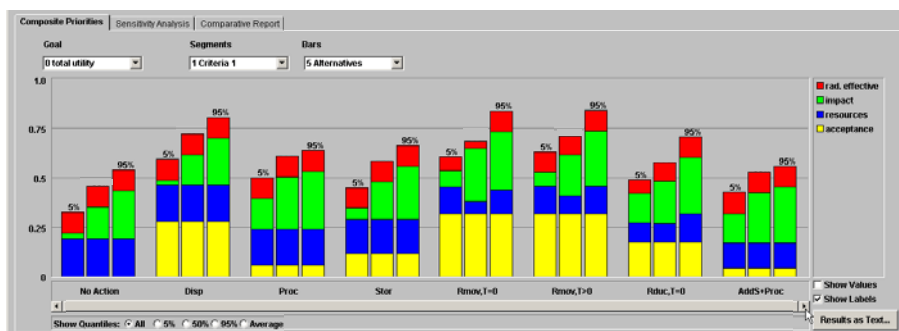


### Ziel

- Kombinierte und umfassende Behandlung der Unsicherheiten
- Konsistente Fortpflanzung der Unsicherheiten
- Geeignete Darstellung der Ergebnisse

## Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in multiattributiven Bewertungsverfahren

- „Multi-Attribute Utility Theory“ (MAUT) (Keeney und Raiffa, 1976)
  - Berücksichtigung von Unsicherheiten und Berechnung von „Expected Utilities“
  - Nachteil: komplexe Algorithmen, in der Praxis nicht ohne weiteres anwendbar
- Monte Carlo Ansätze: Modellieren und konsistentes Fortpflanzen von Unsicherheiten
- Stapelbalkendiagramm ermöglicht Darstellung der Unsicherheitsbereiche der einzelnen Kriterien sowie deren Beitrag zur Gesamtunsicherheit



## Zusammenfassung

- Beherrschung komplexer Entscheidungssituationen durch systematische, strukturierte und transparente Entscheidungsunterstützung
  - Berücksichtigung diverser Kriterien
  - Miteinbeziehen von subjektiven Präferenzen der Entscheidungsträger
  - Berücksichtigung verschiedener Anspruchsgruppen mit unterschiedlichen Interessen
  - Sehr hilfreich zur Bewertung von Sanierungsmaßnahmen nach Notfällen
- MAVT bietet grafische Möglichkeiten zum Identifizieren der wichtigsten Faktoren in Entscheidungsprozessen
- MAVT-Methoden stellen eine effektive Möglichkeit zum Strukturieren von Gruppendiskussionen dar
- Es existieren unterschiedliche Software-Pakete, z.B.
  - Web-HIPRE: Java Applet (Basis-Version: [www.hipre.hut.fi](http://www.hipre.hut.fi))
  - Weitere Pakete (u.a.): VISA, GMAA, Criterium DecisionPlus, Logical Decisions
- Monte Carlo Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten
  - Konsistentes Modellieren und Fortpflanzen der Unsicherheiten
  - Grafische Darstellung zur Visualisierung der Unsicherheiten in den Ergebnissen
  - Kombinierte Behandlung der verschiedenen Unsicherheiten

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Valentin Bertsch, PD Dr. Jutta Geldermann, Prof. Dr. Otto Rentz  
Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)  
Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe

E-mail: [valentin.bertsch@wiwi.uni-karlsruhe.de](mailto:valentin.bertsch@wiwi.uni-karlsruhe.de)  
Fon: +49-(0)721-608-4410  
Fax: +49-(0)721-758909

### Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten gehen auf das EU-Forschungsprojekt EURANOS zurück (vgl. auch <http://www.euranos.fzk.de>). Die Autoren danken der Europäischen Kommission für die Unterstützung der Forschungsarbeiten. Besonderer Dank geht an die beteiligten Projektpartner und insbesondere an Herrn W. Raskob (Forschungszentrum Karlsruhe) als Projektkoordinator.



## 'Stakeholder based MCA': der wechselseitige Lernprozess von Wissenschaft und Praxis in Fallstudien zu nachhaltiger Entwicklung der ETH Zürich

Dr. Michael Stauffacher, Prof. Dr. Roland W. Scholz

Institut für Umweltentscheidungen, Professur für Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften (NSSI), ETH Zürich

Workshop «Integrative Bewertung von Umweltmaßnahmen – Anwendung multikriterieller Bewertungsverfahren zur Entscheidungsunterstützung»

DLR Berlin-Adlershof, 16. November 2006



16. November 2006

ETH - NSSI

### Übersicht

- Hintergrund: transdisziplinäre Forschung und Fallstudien an der ETH Zürich (NSSI – Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften)
- Die ETH-NSSI Fallstudien als Beispiel einer akteurbasierten Multikriterienbewertung («stakeholder-based MCA»)
- Eine Beispielanwendung in sechs Schritten mit dem »Explorationsparcours« als zentralem Element
- Schlussfolgerungen

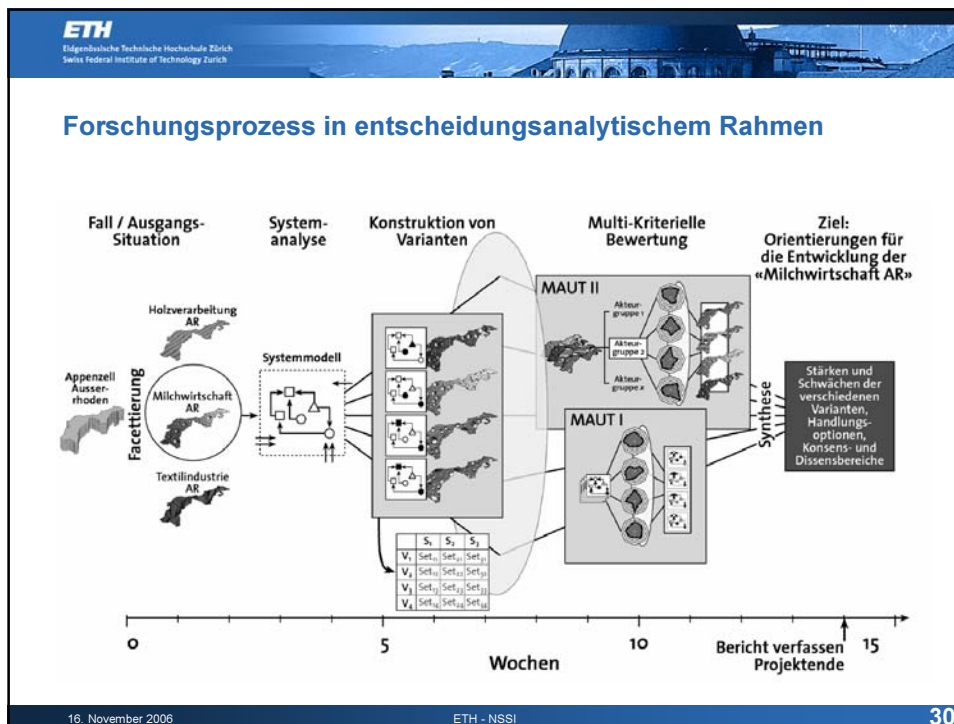
## Transdisziplinäre Forschung an der ETH Zürich

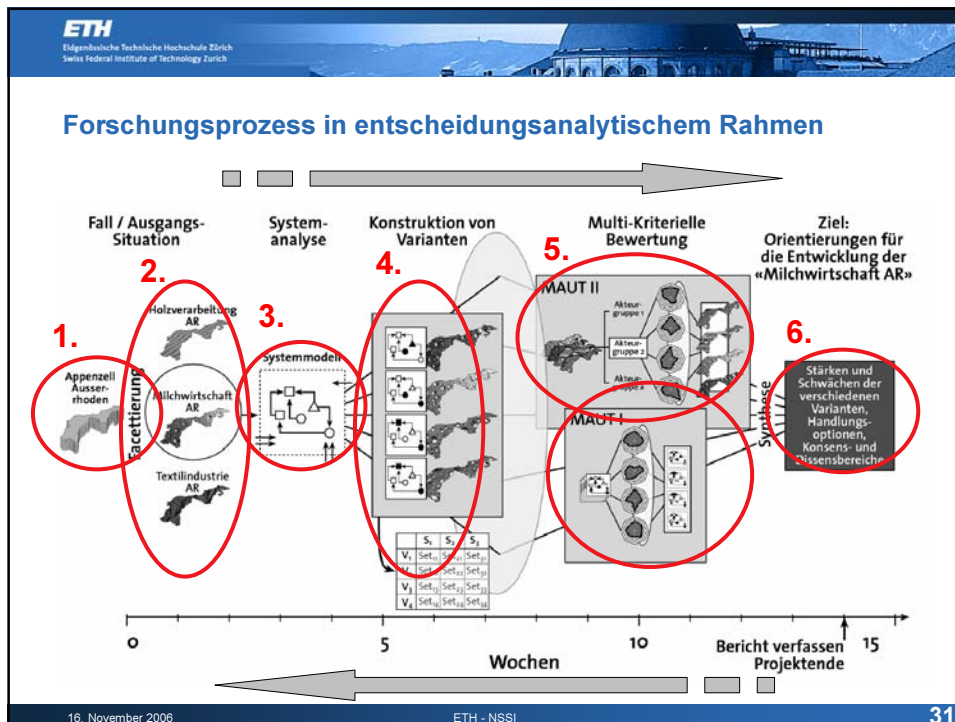
- Unser Verständnis von transdisziplinärer Forschung
  - Forschung nicht für sondern mit der Praxis
  - wechselseitiger Lernprozess von Wissenschaft und Praxis
- Grundprinzipien unserer Arbeiten
  - Forschungsprozess wird über Methoden geformt («embedded case study methods»); Entscheidungsanalyse als Rahmen
  - Co-Leitung der Projekte aus Hochschule und Praxis; institutionalisierte Zusammenarbeit auf allen Projektebenen
  - (wechselseitiger) Lernprozess von allen involvierten Personen wird angestrebt

## Fallstudien zur (Weiter)Entwicklung transdisziplinärer Forschung

- »transdisziplinäre Lehrforschung in Umweltwissenschaften«
- Jährliche Fallstudien seit 1994, geleitet von R.W. Scholz und H.A. Mieg (1994-2000), M. Stauffacher (2000-2005), A. Wiek (seit 2005)
- Obligatorische Veranstaltung für alle Studierenden des ETH-Studiengangs Umweltwissenschaft, 18 Semesterwochenstunden, 14 Wochen Dauer, im 9. Semester
- Vor- und Nachbereitung: je 12-18 Monate
- Bis heute 20 Fallstudien in 6 Universitäten (Schweiz, Schweden, Deutschland, Österreich; für ETH-Fallstudien vgl. nächste Folie)
- Daneben transdisziplinäre Forschungsprojekte nach ähnlichem Muster (gesellschaftliches Nachhaltigkeitslernen)

Jahr	Fall und Inhalt	Studierende	Dozenten	Praxis- vertreter
1994	Grosses Moos-Berner Seeland: Nachhaltige Landwirtschaft	88	50	164
1995	Stadt Zürich: Industrieareal Sulzer Escher-Wyss, Umwelt und Bauen	80	48	135
1996	Stadt Zürich: Zentrum Zürich Nord, nachhaltige Stadtentwicklung	126	47	75
1997	Region Klettgau: Verantwortungsvoller Umgang mit Boden	91	49	206
1998	Region Klettgau: Nachhaltige Regionalentwicklung	80	28	144
1999	Schweizerische Bundesbahnen: Öko-Effizienz von Umweltmaßnahmen	65	29	74
2000	Schweizerische Bundesbahnen: Ökologisches Potenzial des Bahngütertransport	52	26	121
2001	Appenzell Ausserrhoden: Nachhaltige Landschaftsentwicklung	36	33	122
2002	Appenzell Ausserrhoden: Zukunft des traditionellen Industriesektors im ländlichen Raum	36	20	91
2003	Stadt Basel: Nachhaltige Freizeitmobilität	52	38	212
2004	Stadt Basel: Dynamiken der Stadt- und Bahnhofsentwicklung	50	30	250





**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Fallstudie vs. andere aktueurbasierte MCA-Ansätze\*

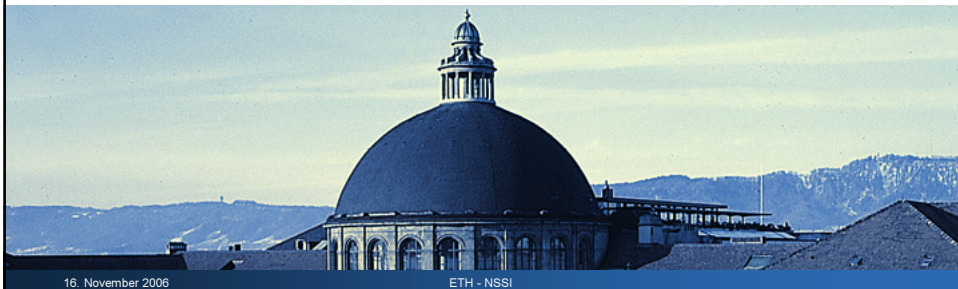
- Gemeinsame Problemdefinition von Hochschule und Praxis
- Detaillierte Systemanalyse, methodengestützte Variantenkonstruktion (»formative Szenarioanalyse«)
- Systematischer Vergleich von unterschiedlichen Bewertungen (→ »Explorationsparcours«):
  - intuitive vs. kriteriengestützte Bewertung der Akteure
  - Vergleich unterschiedlicher Akteurgruppen
  - aktueurbasierte Bewertung vs. datenbasierten Bewertung
- Wechselseitiger Lernprozess als Hauptziel (gemeinsame Erarbeitung von strategischen Handlungsorientierungen)

\* vgl. z. B. Ananda und Herath, 2003; 2005; Brown *et al.*, 2004; McDaniels und Trousdale, 2005; Mendoza und Prabhu, 2005; Pavlikakis und Tsihrintzis, 2003; Reichert *et al.*, 2005; Sheppard, 2005; Sheppard und Meitner, 2005

16. November 2006 ETH - NSSI 32



## Ein Beispiel: Fallstudie zur Zukunft traditioneller Industriebranchen im ländlichen Agglomerationsraum

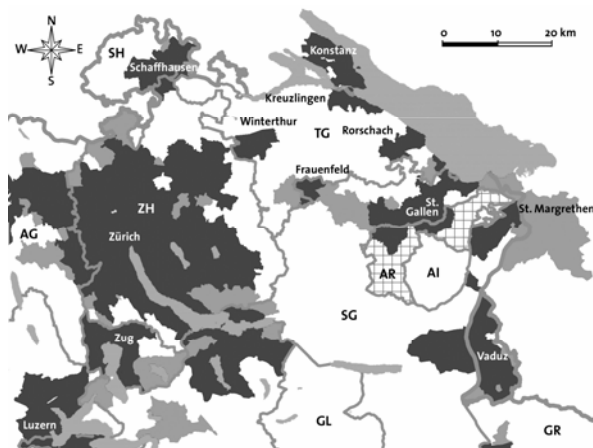


16. November 2006

ETH - NSSI

### Fallstudie 2001/02 Appenzell Ausserrhoden: Umwelt Wirtschaft Region

- 20 Gemeinden mit 53'500 Einwohnern
- 242 km<sup>2</sup> Landfläche
- 435 - 2'500 m.ü.M
- Nähe der Stadt St. Gallen (60 - 90 min. nach Zürich)
- Früh industrialisiert: im 18. Jh. dominierte Textilindustrie
- Um 1880 am dichtesten besiedelter Kanton in der Schweiz (Höchststand 58 Tsd. in 1910)



16. November 2006

ETH - NSSI

34

## Leitfrage und Forschungsfragen

*«Was muss gegeben sein und getan werden, damit die regionale Wirtschaft in 20 Jahren in oder für den Kanton Appenzell Ausserrhoden nachhaltig in Harmonie mit der Umwelt sowie regionalen sozioökonomischen Bedürfnissen wirtschaften kann?»*

- Haben die Traditionsbranchen Holz-, Milch- sowie Textilindustrie eine Chance in Appenzell Ausserrhoden?
- Sind vertikale bzw. horizontale Kooperationen in diesen Industriezweigen möglich und erwünscht?

## Die ETH-NSSI Fallstudie in sechs Schritten 1/6 (12/2001 - 4/2002)

Schritt	
(1) Leitfrage definieren	<p>(1) »Wo liegt das Problem? Wo schmerzt es?«</p> <p>→ Co-Leitung des Projektes durch Landammann (Regierungspräsident) und ETH-Professor; 9 Akteure aus dem Fall beteiligt (Projektsteuerung mit Leitern von Verwaltungsabteilungen, Planern, Bauern, Wirtschaftsförderer, sowie acht Vertretern der Hochschule)</p> <p>→ Methoden: Workshoptechniken, einfache Medienanalysen, leitfadengestützte Interviews, Fallbegehungen</p>
(2) Subsysteme bestimmen	
(3) Systemanalyse	
(4) Szenarien konstruieren	
(5) Multi-Kriterien-Bewertung (MCA)	
(6) Orientierungen entwickeln	

## Die ETH-NSSI Fallstudie in sechs Schritten 2/6 (5/2002 - 10/2002)

Schritt
(1) Leitfrage definieren
(2) Subsysteme bestimmen
(3) Systemanalyse
(4) Szenarien konstruieren
(5) Multi-Kriterien-Bewertung (MCA)
(6) Orientierungen entwickeln

- (2) Subsysteme, die den Fall gut repräsentieren: Textil-, Holz und Milchwirtschaft
- 15 Akteure aus der Region und 4 zusätzliche Professoren der ETH sowie der Universität St. Gallen beteiligt (Projektsteuerung sowie Beirat)
- Methoden: detaillierte Literaturrecherchen, Workshop-Techniken, Informations- und Dokumentensichtung, Akteuranalyse, erste Gespräche mit Vertretern der gewählten Wirtschaftszweige (Total 20 Unternehmensleiter)

## Die ETH-NSSI Fallstudie in sechs Schritten 3/6 (10/2002 - 11/2002)

Schritt
(1) Leitfrage definieren
(2) Subsysteme bestimmen
(3) Systemanalyse
(4) Szenarien konstruieren
(5) Multi-Kriterien-Bewertung (MCA)
(6) Orientierungen entwickeln

- (3) Beschreibung der Subsysteme mit Einflussfaktoren (Einflussmatrizen und verschiedene Darstellungsarten vertiefen Verständnis des Systems und der Dynamiken)
- Strukturierte Experteninterviews mit den Unternehmensleitern; Sekundäranalyse verschiedener Daten; Diskussionen in drei Begleitgruppen mit insgesamt 40 Personen aus dem Fall; Diskussion Zwischenstand in der Steuerungsgruppe
- Methoden: qualitative und semi-quantitative Systemanalyse, Sozialforschungsmethoden, »Seitenwechsel«

## Die ETH-NSSI Fallstudie in sechs Schritten 4/6 (12/2002 - 1/2003)

Schritt
(1) Leitfrage definieren
(2) Subsysteme bestimmen
(3) Systemanalyse
(4) Szenarien konstruieren
(5) Multi-Kriterien-Bewertung (MCA)
(6) Orientierungen entwickeln

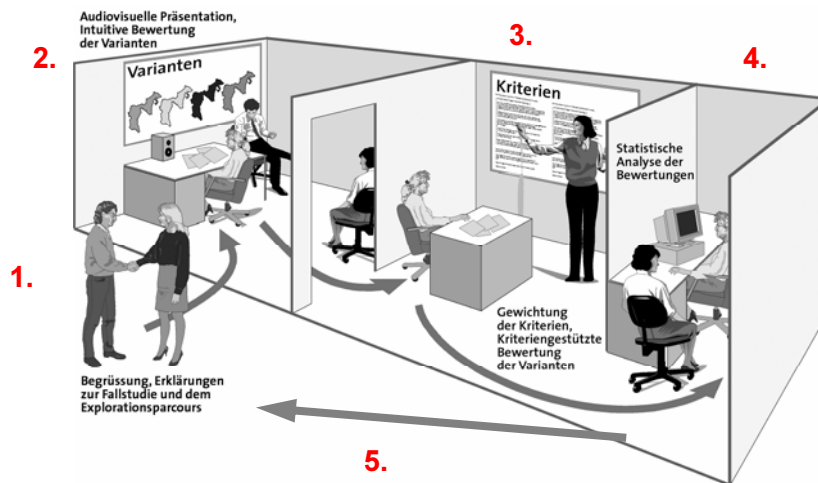
- (4) Pro Einflussfaktoren werden zwei bis ... Ausprägungen zukünftiger Entwicklung bestimmt. Ein Szenario ist eine vollständige Kombination von Ausprägungen aller Einflussfaktoren. Konsistenzanalysen helfen inkonsistente Szenarien auszuschliessen.
- Diskussion und endgültige Auswahl der Szenarien in den Begleitgruppen; Diskussion Zwischenstand in der Steuerungsgruppe
- Methoden: Formative Szenario Analyse (Kombination intuitiver mit analytischer Konstruktion); Workshops

## Die ETH-NSSI Fallstudie in sechs Schritten 5/6 (1/2003 - 2/2003)

Schritt
(1) Leitfrage definieren
(2) Subsysteme bestimmen
(3) Systemanalyse
(4) Szenarien konstruieren
(5) Multi-Kriterien-Bewertung (MCA)
(6) Orientierungen entwickeln

- (5) Sechs bis neun Bewertungskriterien pro Subsystem. Zwei unterschiedliche Verfahren der MCA werden angewandt:
- (a) Berechnungen basierend auf Daten, Literatur und Experteninterviews (Datenbasierte Bewertung); (b) Bewertung durch unterschiedliche Akteurgruppen (Akteurbasierte Bewertung, »Explorationsparcours«).
- Ca. 20 Experteninterviews; 73 Akteure im »Explorationsparcours«; Diskussion der Resultate in den Begleitgruppen; Diskussion Zwischenstand in der Steuerungsgruppe
- Methoden: Raumnutzungsverhandlungen (ADN, stakeholder based MCA), Experteninterviews

## Explorationsparcours: Akteurbasierte Bewertung im Überblick



## Detaillierter Ablauf Explorationsparcours

1. Begrüssung, Erklärung Ablauf und Ziele
2. Präsentation der *Varianten* (Tonband, Video, Bilder, Poster)
  - intuitive gesamtheitliche Bewertung durch die Akteure
3. Präsentation der *Bewertungskriterien* (Kurzbeschreibungen plus detaillierte Definitionen)
  - Gewichtung der Kriterien («swing weights»)
4. Kurzwiederholung Varianten und Kriterien (Poster)
  - Kriteriengestützte Bewertung durch Akteure (direkte Messung)
5. Präsentation erster Auswertungen, Diskussion, Verabschiedung

## Die Varianten werden vorgestellt

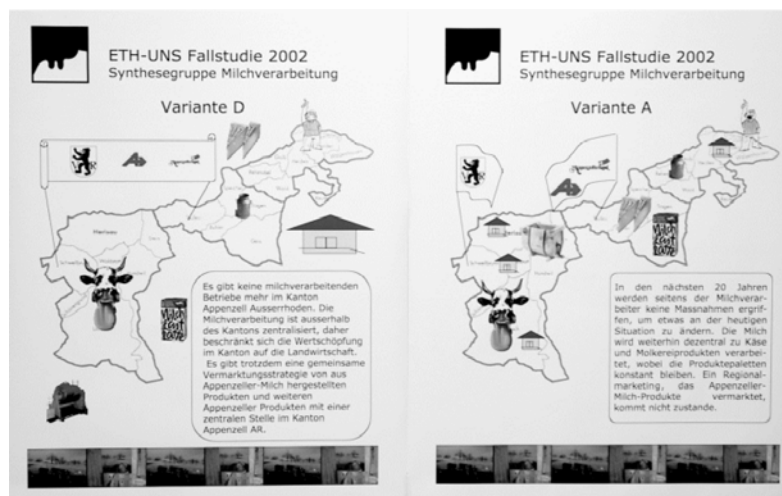


16. November 2006

ETH - NSSI

43

## Poster illustrieren die Varianten



16. November 2006

ETH - NSSI

44

## Tabelle helfen die Übersicht halten

Systemelement	Quantifizierung	Variante			
		Weiter wie bisher	Verbund	Zentralisierung im Kanton	Zentralisierung ausserhalb AR
Anteil Bio-Milch	%	18	30	50	30
Verarbeitete Milchmenge	Mio kg	18	25	25	0
Produzierte Milchmenge	Mio kg	45	50	50	45
Produktediversität Käserei	Anzahl Sorten	30	30	35	0
Produktediversität Molkerei	Anzahl Sorten	57	65	65	0
Betriebsstruktur	Anzahl Betriebe	12 (11 + 1)	12 (11 + 1)	3 (2 + 1)	0
Modernisierungsgrad		nicht modernisiert	modernisiert	modernisiert	modernisiert
Regionalmarketing		nein	ja	ja	ja, speziell

## Intuitive gesamthafte Bewertung





## Jede Variante wird auch kriteriengestützt bewertet



## Die ETH-NSSI Fallstudie in sechs Schritten 6/6 (2/2003 - 10/2003)

Schritt	
(1) Leitfrage definieren	
(2) Subsysteme bestimmen	
(3) Systemanalyse	
(4) Szenarien konstruieren	
(5) Multi-Kriterien-Bewertung (MCA)	
(6) Orientierungen entwickeln	<p>(6) Diskussion der Resultate und gemeinsame Erarbeitung von Orientierungen für die Zukunft. Definition von Fortsetzungsprojekten (Analyse Textilindustrie auf nationaler Ebene, Möglichkeiten der Milchverarbeitung im Kanton). Schreiben Fallstudienbuch.</p> <p>→ 15 Akteure aus der Region in den Diskussionen beteiligt (Projektsteuerung sowie Beirat). Weitere Treffen der Begleitgruppen. Buchkapitel kritisch geprüft durch 17 Fallakteure und 12 Personen aus der Hochschule.</p> <p>→ Methoden: statistische Auswertungen, Workshops, [gemeinsames Schreiben an Buchkapiteln]</p>



## Zentrale Schlussfolgerungen

- Akteurbasierte MCA
  - *Verschiedene Vergleiche* machen unterschiedliche Wahrnehmungen, Zielkonflikte, Konsensus- bzw. Dissensbereiche, usw. sichtbar
  - Anwendung der MCA *verzichtet bewusst auf anspruchsvollere Techniken* (Paarvergleiche, Outranking, nicht lineare Nutzenfunktionen, usw.), da sonst Gefahr der Überforderung zu groß ist sowie Transparenz des Verfahrens leidet
- Fallstudie als Rahmen
  - *Formative Szenariokonstruktion* ermöglicht die Präsentation detailreicher, umfassender und konsistenter Zukunftsbilder (Voraussetzung für sinnhafte Bewertung durch Akteure)
  - *Gemeinsame Problemdefinition* von Hochschule und Praxis zu Beginn, gemeinsame Erarbeitung von Handlungsoptionen zu Ende sowie der gesamte übrige Prozess ermöglichen wechselseitiges Lernen

## Ausgewählte Publikationen (zusätzlich zu jährlichen Fallstudienbüchern)

- Loukopoulos, P. & Scholz, R.W. (2004). Sustainable future urban mobility: using 'area development negotiations' for scenario assessment and participatory strategic planning. *Environment and Planning A*, 36, 2203–2226.
- Scholz, R. W., Lang, D., Walter, A., Wiek, A. & Stauffacher, M. (2006). Transdisciplinary case studies as a means of sustainability learning: historical framework and theory. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 7(3), 226–251
- Scholz, R.W., & Stauffacher, M. (in press). Managing transition in clusters: Area Development Negotiations as a tool for sustaining traditional industries in a Swiss pre-alpine region. *Environment and Planning A*
- Scholz, R.W. & Tietje, O. (2002). *Embedded Case Study Methods: Integrating Quantitative And Qualitative Knowledge*. Thousand Oaks: Sage
- Stauffacher, M., Walter, A., Lang, D., Wiek, A. & Scholz, R.W. (2006). Learning to research complex real-world problems from a functional socio-cultural constructivism perspective: The transdisciplinary case study approach. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 7(3), 252–275
- Tietje, O. (2005). Identification of a small reliable and efficient set of consistent scenarios. *European Journal of Operational Research*, 162(2), 418–432.
- Wiek, A., Binder, C.R., & Scholz, R.W. (2006). Functions of scenarios in transition processes. *Futures* 38(7), 740–766.
- Wiek, A., Lang, D. & Siegrist, M. (in press). Qualitative System Analysis as a means for sustainable governance of emerging technologies – the case of nanotechnology. *Journal of Cleaner Production*.

## **Erweiterungen des PROMETHEE-Verfahrens zur Berücksichtigung von Unsicherheit**

Martin Drechsler  
Department Ökologische Systemanalyse  
UFZ – Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle



UFZ–Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

51



## **Erweiterungen des PROMETHEE-Verfahrens zur Berücksichtigung von Unsicherheit**

Martin Drechsler  
Department Ökologische Systemanalyse  
UFZ – Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle



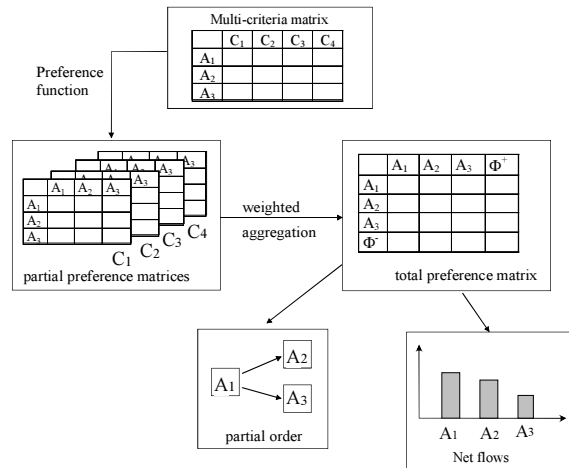
UFZ–Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

52



## 1. Das PROMETHEE-Verfahren im Überblick



## 1.a Beispiel

Kriterien Alternativen	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
	Nettonutzen undiskontiert; Differenz zu R <sub>1</sub>	Brutto-Wert- schöpfung; Differenz zu R <sub>1</sub>	Beschäfti- gung; Differenz zu R <sub>1</sub>	Mittlere NO <sub>3</sub> -Kon- zentration im Sicker- wasser	Naturschutz fachliche Bewertung
	[Mio. DM]	[Mio. DM]	[Personen- jahre]	[mg/l]	[qualitativ]
R <sub>1</sub> : TWSG= und Kies+	0	0	0	78	mittel
R <sub>2</sub> : TWSG- und Kies+	-9.6	14	-83	94	schlecht
R <sub>3</sub> : TWSG= und Kies=	19.3	-4	-24	78	gut
R <sub>4</sub> : TWSG- und Kies=	18.6	13	-115	94	gut
Schwellen					
Indifferenzschwelle	1.0	2.0	10.0	1.0	-
Präferenzschwelle	5.0	10.0	50.0	5.0	-

Quelle: Drechsler M (2001) Verfahren der multikriteriellen Analyse bei Unsicherheit. In: Horsch H, Ring I, Herzog F (eds) *Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung - Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und -umsetzung*. Metropolis, Marburg, pp. 269-292

### Kriterium C1: Nettonutzen

Kriterien	C <sub>1</sub>
Alternativen	Nettonutzen undskontiert. Differenz zu R <sub>1</sub> [Mio. DM]
R <sub>1</sub> : TWSG- und Kies+	0
R <sub>2</sub> : TWSG- und Kies+	-9.6
R <sub>3</sub> : TWSG- und Kies-	19.3
R <sub>4</sub> : TWSG- und Kies-	18.6
Schwellen	
Indifferenzschwelle	1.0
Präferenzschwelle	5.0

### 1.a Beispiel

#### Präferenzmatrix für Kriterium C1

Alternative	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>	0	1	0	0
R <sub>2</sub>	0	0	0	0
R <sub>3</sub>	1	1	0	0
R <sub>4</sub>	1	1	0	0

#### Gesamt-Präferenzmatrix nach Aggregation

[w(NN)=0.222 w(BWS)=0.111 w(jobs)=0.333 w(NO3)=0.300 w(NFB)=0.003]

Alternative	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	F <sup>-</sup>	Rang
R <sub>1</sub>	0	0.9	0.1	0.6	1.6	2
R <sub>2</sub>	0.1	0	0.1	0.2	0.4	4
R <sub>3</sub>	0.3	0.9	0	0.6	1.8	1
R <sub>4</sub>	0.4	0.3	0.1	0	0.8	3
F <sup>-</sup>	0.8	2.1	0.3	1.4		
Rang	2	4	1	3		

Quelle: Drechsler M (2001) Verfahren der multikriteriellen Analyse bei Unsicherheit. In: Horsch H, Ring I, Herzog F (eds) *Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung - Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und -umsetzung*. Metropolis, Marburg, pp. 269-292



UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

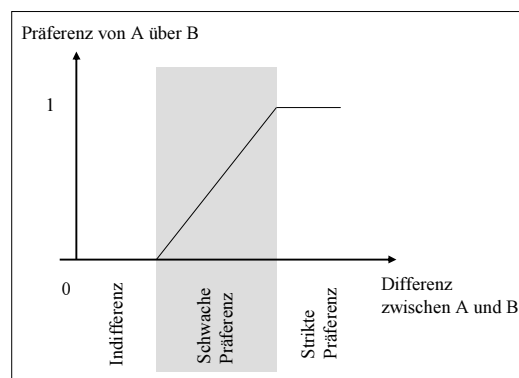
1. Vorlesung

55



## 2. Präferenzen

### a. Vergleich zweier Alternativen in einem Kriterium



UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

56



## 2. Präferenzen

a. Vergleich zweier Alternativen in einem Kriterium mit Software **PRIMATE**

Criteria

Number of criteria: 5

Swap

#	1	2	3	4	5
Name of criterion	Net utility	Gross added jobs	Nitrate conc	Biodiversity	
Short	NU	GAV	Jobs	NO3	Biodiv
Aspiration (m <sup>2</sup> /mN)	X	X	X	N	X
Unit	Mio DM	Mio DM	Person year/mg/l		
Indifference threshold	1	2	10	1	0
Preference threshold	5	10	50	5	0
Uncertainty (y/n)	y	y	y	n	n
Edit uncertainty	Edit	Edit	Edit	Edit	Edit
Values	1	2	3	4	5
Alternative W-G+	0	0	0	-80	1
Alternative W-G+	0	0	0	-94	0
Alternative W-G+	0	0	0	-80	2
Alternative W-G+	0	0	0	-94	2

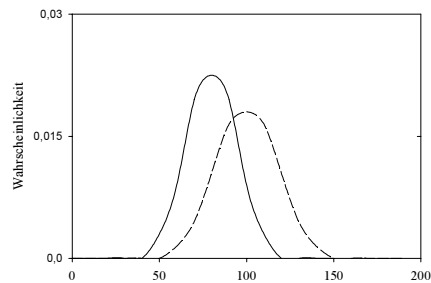
## 2. Präferenzen

b. Kriteriengewichte mit **PRIMATE**



### 3. Unsicherheit

#### a. Datenunsicherheit



Präferenz von A über B in Kriterium K:  $\Pi(A,B) \sim P\{K(A) > K(B)\}$

Quelle: Drechsler M (2001) Verfahren der multikriteriellen Analyse bei Unsicherheit. In: Horsch H, Ring I, Herzog F (eds) *Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung - Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und -umsetzung*. Metropolis, Marburg, pp. 269-292



UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

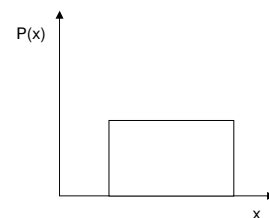
59



### 3. Unsicherheit

#### a. Datenunsicherheit mit PRIMATE

Criterion NU		
Values	Uniform	
Differences	Triangular	
#	Minpoint	Maxpoint
Alternative W=G+	0	0
Alternative W-G+	0	0
Alternative W=G=	0	0
Alternative W-G=	0	0



UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

60



### 3. Unsicherheit

#### a. Datenunsicherheit mit PRIMATE

PRIMATE zieht Zufallszahlen aus den angegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Für jede Kombination von Zufallszahlen wird eine komplette Multikriterienanalyse durchgeführt

Die Ergebnisse aller Analysen werden statistisch ausgewertet  
(Mittelwerte, Varianzen, Rangverteilungen)



### 3. Unsicherheit

#### b. Gewichtungsunsicherheit mit PRIMATE

Teilweise und indirekt enthalten in

Anforderung an Eingangsdaten...



## 4. Anforderung an Eingangsdaten

### a. Kriteriengewichtung mit PRIMATE

a1. Kardinal

a2. Ordinal

Eingabe der relativen Wichtigkeit der Kriterien über Rangfolge  
z.B.  $w_1 > w_2 > w_3$

PRIMATE würfelt zufällig Gewichte aus, die der Rangfolge genügen.  
Für jedes Gewichtscombination wird eine komplette Multikriterienanalyse nach dem PROMETHEE-Verfahren durchgeführt

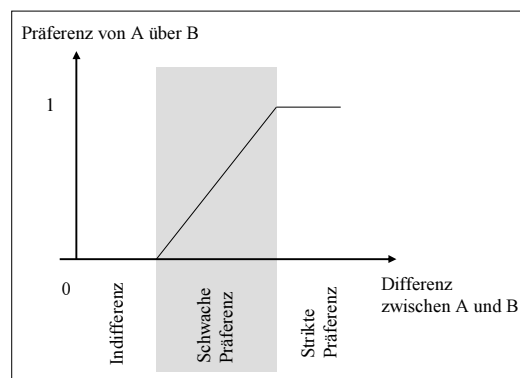
Die Ergebnisse aller Analysen werden statistisch ausgewertet  
(Mittelwerte, Varianzen, Rangverteilungen)

## 4. Anforderung an Eingangsdaten

### b. Bewertung der Alternativen („Daten“) mit PROMETHEE (und PRIMATE)

b1. Kardinal

b2. Ordinal



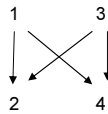


## 5. Kompensation

Alternative	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	$F^+$	Rang
R <sub>1</sub>	0	0.9	0.1	0.6	1.6	2
R <sub>2</sub>	0.1	0	0.1	0.2	0.4	4
R <sub>3</sub>	0.3	0.9	0	0.6	1.8	1
R <sub>4</sub>	0.4	0.3	0.1	0	0.8	3
$F^-$	0.8	2.1	0.3	1.4		
Rang	2	4	1	3		

### PROMETHEE 1

Rang 1: 3  
Rang 2: 1  
Rang 3: 4  
Rang 4: 2



Gewisse Einschränkung der Kompensation

### PROMETHEE 2

$F^+(R_1)=0.8$   
 $F^+(R_2)=-1.7$   
 $F^+(R_3)=1.5$   
 $F^+(R_4)=-0.6$

Rang 1: 3  
Rang 2: 1  
Rang 3: 4  
Rang 4: 2

Volle Kompensation



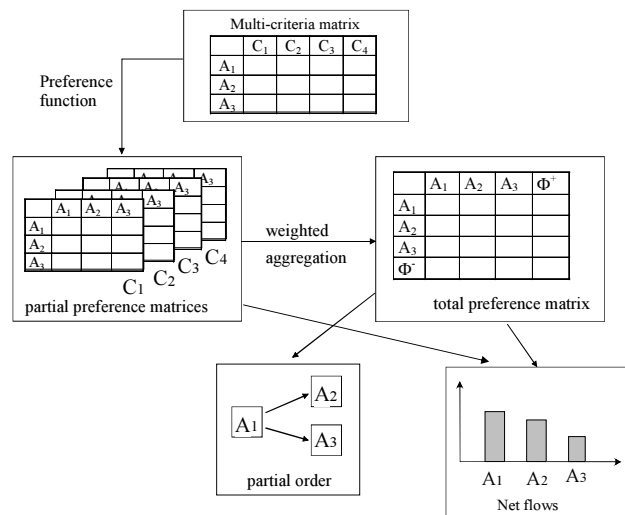
UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

65



## 6. Ausgabe von PROMETHEE und PRIMATE



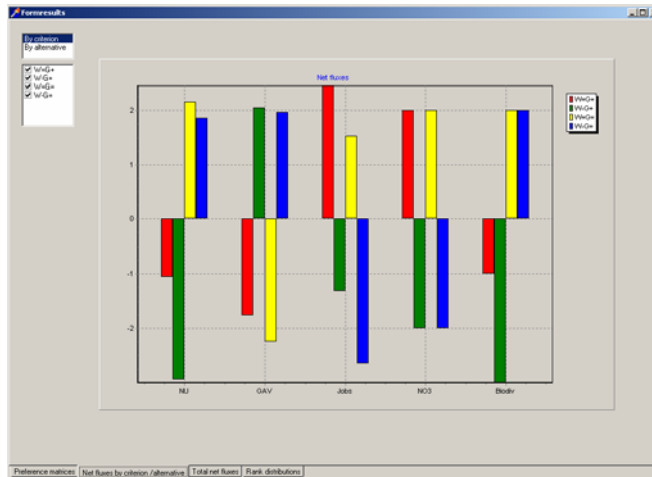
UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

66



## 6. Ausgabe von PRIMATE



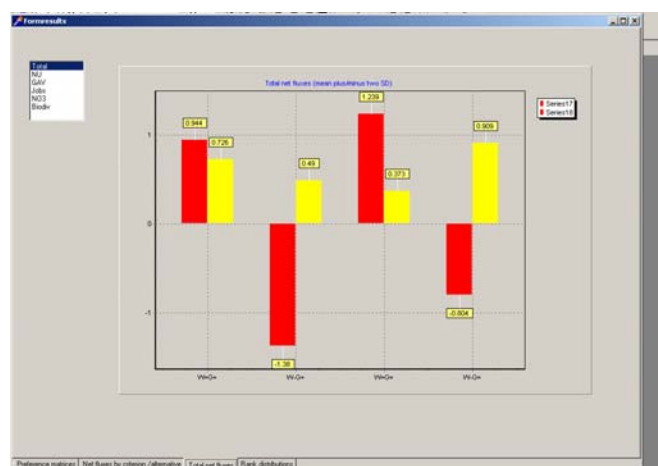
UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

67



## 6. Ausgabe von PRIMATE



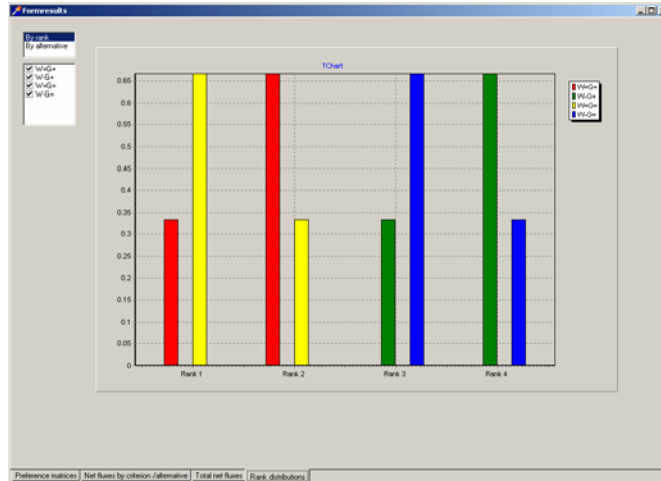
UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

68



## 6. Ausgabe von PRIMATE



## 7. Partizipation:

Anwendung am Goulburn-Flusseinzugsgebiet, Australien

(Proctor/Drechsler: Deliberative multicriteria evaluation, Environmental Planning C, 2006)



Citizens Jury

Experten = Zeugen

6 Entscheider = Jury

Ziel: Konsensuale Entscheidung über Entwicklungsszenarien des Gebiets

## 7. Partizipation:

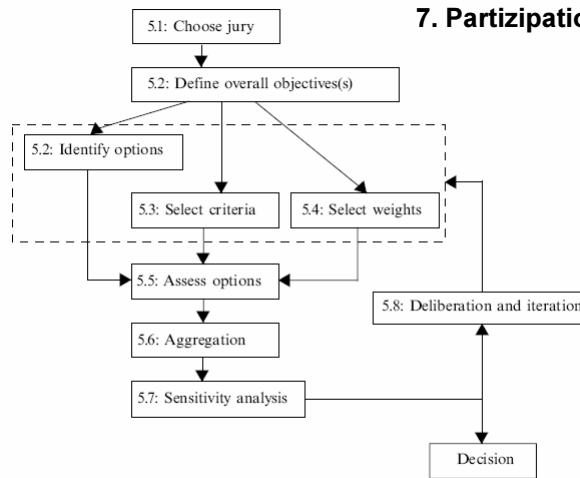


Figure 2. Flowchart of the deliberative multicriteria decision process.

Quelle: Proctor/Drechler: Deliberative multicriteria evaluation, Environmental Planning C, 2006



UFZ–Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

71



## 7. Partizipation:

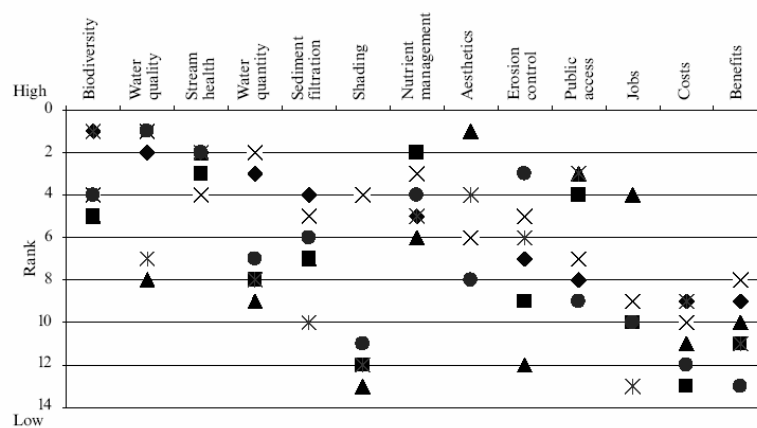


Figure 3. Ranking of the criteria by their importance, where each symbol represents the ranking of one of the six jurors.

Quelle: Proctor/Drechler: Deliberative multicriteria evaluation, Environmental Planning C, 2006



UFZ–Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

72



## 7. Partizipation:

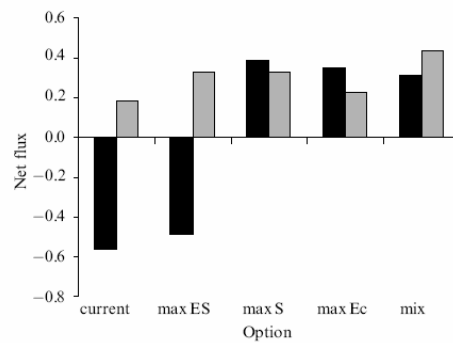


Figure 4. Means (black bars) and standard deviations (grey bars) of the net fluxes of the five options prior to the jury.

Quelle: Proctor/Drechsler: Deliberative multicriteria evaluation, Environmental Planning C, 2006



UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

73



## 7. Partizipation:

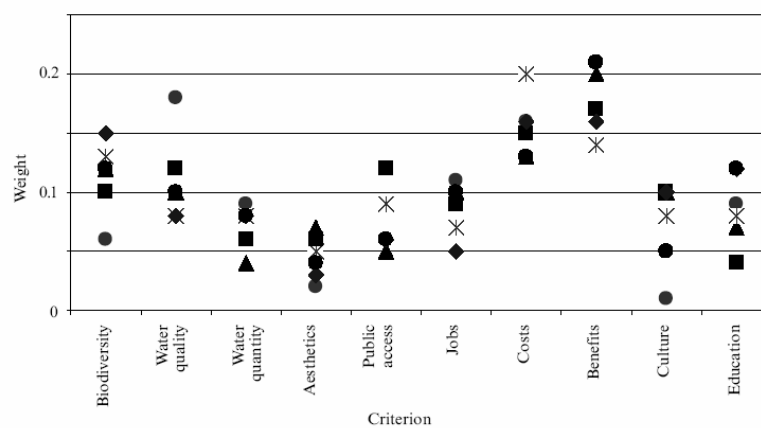


Figure 6. Weighting of criteria where each symbol represents the weighting of one of the six (for each juror normalised to a sum of one).

Quelle: Proctor/Drechsler: Deliberative multicriteria evaluation, Environmental Planning C, 2006



UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

74



## 7. Partizipation:

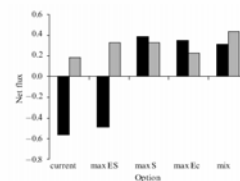
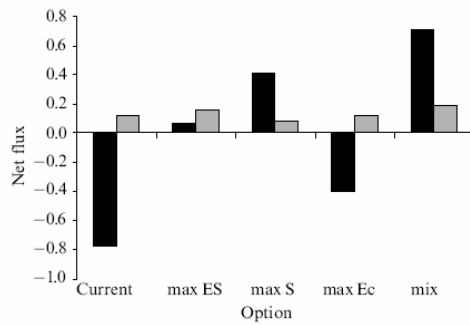


Figure 4. Means (black bars) and standard deviations (grey bars) of the net fluxes of the five options prior to the jury.

Figure 7. Means (black bars) and standard deviations (grey bars) of the net fluxes of the five options after the jury

Quelle: Proctor/Drechsler: Deliberative multicriteria evaluation, Environmental Planning C, 2006



UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

1. Vorlesung

75





## Die Verwendung des AHP zur Standortbewertung

Nguyen Xuan Thinh

Workshop „Integrative Bewertung von Umweltmaßnahmen – Anwendung  
multikriterieller Bewertungsverfahren zur Entscheidungsunterstützung“  
DLR Berlin-Adlershof, 16.11.2006



### Die Methode Analytic Hierarchy Process von T. Saaty

---

- Einführung
- Allgemeine Vorgehensweise des AHP
- Vorführung anhand eines EXCEL-Programmes
- Anwendung des AHP in Kombination mit anderen Methoden zur Standortbewertung
- Zusammenfassung

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh



## Analytic Hierarchy Process – Einführung

- Von T. L. Saaty Beginn der 1970er entwickelt
- Drei Hauptcharakteristiken:
  - ▶ **Analytic**  
analytisch zu arbeiten, Zahlen benutzt,  
logische Schlüsse auf numerische Werte  
angewendet und verständlich gemacht
  - ▶ **Hierarchy**  
Strukturierung des Problems in Ebenen, Ziele, Unterziele,  
Kriterien, Unterkriterien, Alternativen
  - ▶ **Process**  
den Prozesscharakter trägt

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## Analytic Hierarchy Process – Einführung

- **Umfangreiche Liste internationaler Publikationen über AHP**
- **Anwendung in zahlreichen Disziplinen, beispielsweise:**
  - ▶ Standortbewertung und -suchen
  - ▶ Bewertung der Umwelt-, Sozialverträglichkeit und  
Wirtschaftlichkeit von Infrastruktur-Großprojekten
  - ▶ Finnische Entscheidung, ob ein neues Atomkraftwerk gebaut  
oder darauf verzichtet werden soll
  - ▶ Sechsmal im Vorfeld der US-Präsidentschaftswahlen als  
Prognoseverfahren eingesetzt, 1992 den Sieg von B. Clinton  
richtig vorhergesagt

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh



## Allgemeine Vorgehensweise von AHP

- Auswahl von Alternativen und Kriterien
- Abbildung des Bewertungsproblems in eine Hierarchie
- Paarweiser Vergleich der einzelnen Hierarchieelemente
- Ermittlung der lokalen Prioritätenvektoren
- Überprüfung der Konsistenz der Paarvergleichsurteile
- Ermittlung der globalen Prioritätenvektoren

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP – Auswahl von Alternativen und Kriterien

### Demonstrationsbeispiel: Bewertung der Wohnumfeldqualität von Stadtteilen

Aus n Stadtteilen z. B. 4 wählen → 4 Alternativen

Viele Merkmale beeinflussen die Wohnumfeldqualität

→ Auswahl von Merkmalen/Kriterien mit hoher Korrelation zur Wohnqualität  
gleichzeitig durch planerische Entscheidungen beeinflussbar

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Umweltsituation</li> <li>▪ Infrastruktur</li> <li>▪ Verkehrssituation</li> <li>▪ Baugebietskategorie (Nutzungsmischungsgrad von Wohnen, Dienstleistung, Gewerbe, Industrie etc.)</li> <li>▪ Weitere andere Kriterien</li> </ul> | <p>→</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Luftqualität</li> <li>Lärmbelastung</li> <li>Klima [Vegetation / Baumasse]</li> <li>Grün- u. Freiflächenangebot</li> </ul> |
|--|--|

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP – Auswahl von Alternativen und Kriterien

- Diesen Arbeitsschritt verlangt jede Bewertungsmethode
- Auswahl wesentlich voneinander abweichender, gleichzeitig aber auch potenziell entscheidungsrelevanter Alternativen
- Entwicklung von Kriterien, die eine wirkliche Differenzierung betrachteter Alternativen erlauben
- Identifizierung entscheidungserheblicher Kriterien
- Allgemeine Empfehlung: Beschränkung auf ca. 25 verschiedene Kriterien

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP - Abbildung des Bewertungsproblems in eine Hierarchie

**Demonstrationsbeispiel: Bewertung der Wohnumfeldqualität von Stadtteilen**

Aus n Stadtteilen z. B. 4 wählen → 4 Alternativen

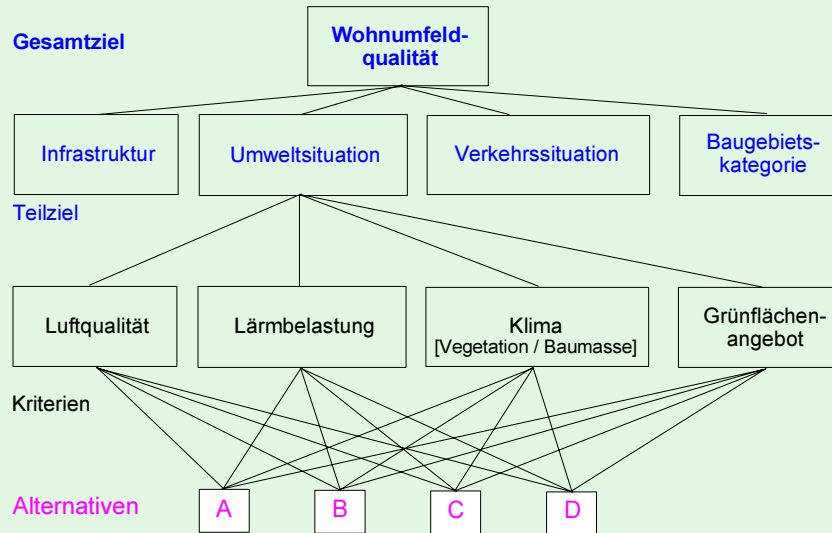
Viele Merkmale beeinflussen die Wohnumfeldqualität

→ Auswahl von Merkmalen/Kriterien mit hoher Korrelation zur Wohnqualität  
gleichzeitig durch planerische Entscheidungen beeinflussbar

- Umweltsituation → Unterkriterien
- Infrastruktur → Unterkriterien
- Verkehrssituation → Unterkriterien
- Baugebietskategorie (Nutzungsmischungsgrad von Wohnen, Dienstleistung, Gewerbe, Industrie etc.)
- Weitere andere Kriterien

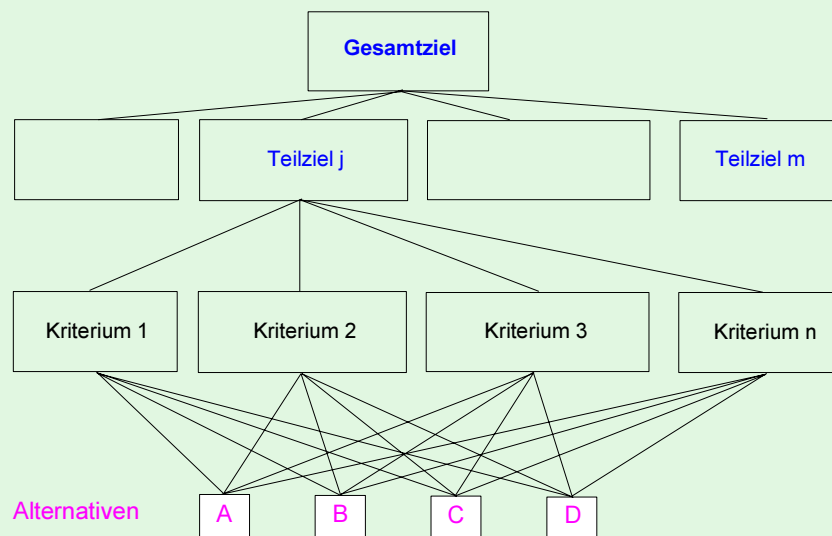
PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP - Abbildung des Bewertungsproblems in eine Hierarchie



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP - Abbildung des Bewertungsproblems in eine Hierarchie



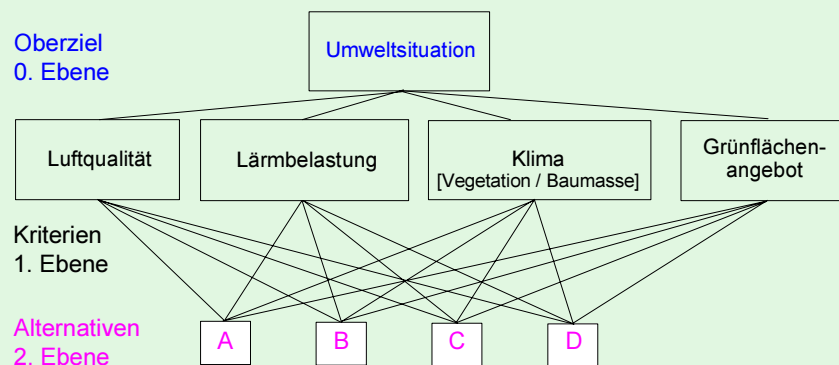
PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP - Abbildung des Bewertungsproblems in eine Hierarchie

- Dieser Arbeitsschritt ist zentrales Wesensmerkmal der Methode
- Alle Ziele, Kriterien und Alternativen, die im vorherigen Schritt identifiziert wurden, müssen hierarchisch angeordnet werden
- Reduzierung der Komplexität und Vereinfachung der Informationsverarbeitung
- Erforderlich, weil das menschliche Gehirn ab einer bestimmten Anzahl gleichzeitig zu betrachtender Sachverhalte überfordert ist (Grenze zwischen 5 und 9)
- Nachteil des streng hierarchischen Modellaufbaus bei Vernetztheit und Rückkopplungen (methodologisches Problem).

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP - Ermittlung von lokalen Prioritätenvektoren



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

**Ermittlung lokaler Prioritätenvektoren (Paarweiser Vergleich)**

- Beurteilung eines Sachverhalts: Ablehnung, Gleichgültigkeit, Akzeptanz
- Verfeinerung: gering, mittel, hoch  $\rightarrow 3 * 3 = 9$

Skalenwert	Definition	
1	Gleiche Bedeutung	Equal importance
2		
3	Etwas größere Bedeutung	Moderate importance
4		
5	Erheblich größere Bedeutung	Strong importance
6		
7	Sehr viel größere Bedeutung	Very strong importance
8		
9	Absolut dominierend	Extreme importance

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

**Ermittlung lokaler Prioritätenvektoren (Paarweiser Vergleich)**

	$A_1$	$A_2$		$A_n$	$b_{i1}$
$A_1$	1	2		1/9	$a_{11}/S_1$
$A_2$	1/2	1		3	$a_{21}/S_1$
			1		
$A_n$	9	1/3		1	$a_{n1}/S_1$
Spalten- summen	$S_1$	$S_2$		$S_n$	

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

**AHP – Ermittlung von lokalen Prioritätenvektoren**

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (i = 1(1)n)$$

$w_i$  = Mittelwerte der Zeilenvektoren der Matrix B

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

**Überprüfung der Konsistenz der Paarvergleichsurteile**

A ist 2-mal bedeutender als B

B ist 3-mal bedeutender als C



Ist A 6-mal bedeutender als C?

A ist 3-mal bedeutender als B

B ist 4-mal bedeutender als C



Ist A 12-mal bedeutender als C?

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## Überprüfung der Konsistenz der Paarvergleichsurteile

- Berechnung des Konsistenzvektors durch komponentenweise

Division des Vektors  $Aw$  durch  $w$

$$\begin{bmatrix} \frac{Aw}{w} \end{bmatrix}$$

- Berechnung des Mittelwertes  $\lambda$  des Konsistenzvektors

$$\lambda = \left( \left[ \frac{Aw}{w} \right]_1 + \left[ \frac{Aw}{w} \right]_2 + \dots + \left[ \frac{Aw}{w} \right]_n \right) / n$$

- Berechnung des Konsistenzindex CI und Konsistenzquotienten CR

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad RI \text{ eine von } n \text{ abhängige Zahl, einer bekannten Tabelle von Saaty zu entnehmen}$$

If  $CR < 0.1 \rightarrow OK$ , if  $CR = 0.1 \rightarrow$  Wiederholung der Prozedur

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

## AHP - Ermittlung globaler Prioritätenvektoren

	K 1	K2	K3	K4
A	$W_{A1}$	$W_{A2}$	$W_{A3}$	$W_{A4}$
B	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{B3}$	$W_{B4}$
C	$W_{C1}$	$W_{C2}$	$W_{C3}$	$W_{C4}$
D	$W_{D1}$	$W_{D2}$	$W_{D3}$	$W_{D4}$

$$\begin{pmatrix} W_{g1} \\ W_{g2} \\ W_{g3} \\ W_{g4} \end{pmatrix}$$

$$W_{Ag} = ? W_{Ai} * W_{gi}$$

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh



## Vorführung anhand eines EXCEL-Programmes

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh



### Fazit

---

- AHP ist relativ einfach zu programmieren und anzuwenden.
- AHP bietet gute Möglichkeiten für Entscheidungsfindung durch eine Gruppe; niedriges Skalenniveau der Eingangsdaten; Daten müssen nicht in eine einheitliche Messdimension umgerechnet werden.
- AHP kann gut mit unscharfen Daten operieren (R. Banai 1993).
- AHP kann einen realen Entscheidungsprozess keineswegs ersetzen, sondern will ihn unterstützen und möglichst verkürzen.
- AHP weist darauf hin, wo weitere Informationen benötigt werden und wo die Ursachen für Widersprüche liegen.
- Doch trotz allem ist AHP nicht mehr als ein wissenschaftliches, analytisches Hilfsmittel für Menschen, um zufrieden stellende Entscheidungen treffen zu können.

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh







Nguyen Xuan Thinh

Workshop „Integrative Bewertung von Umweltmaßnahmen – Anwendung  
multikriterieller Bewertungsverfahren zur Entscheidungsunterstützung“  
DLR Berlin-Adlershof, 16.11.2006

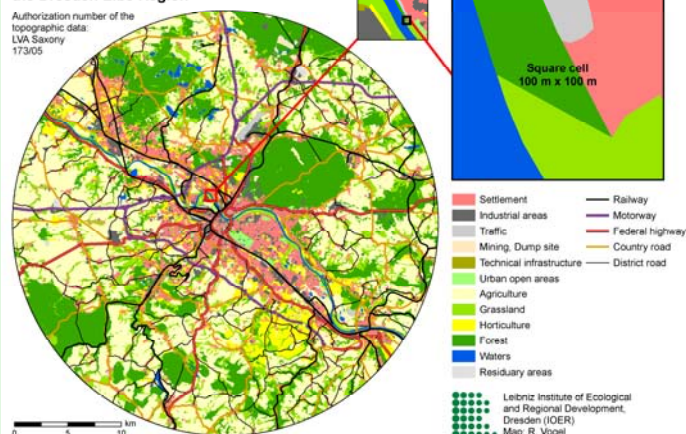
Vortrag Teil 2



## GIS-based Multiple Criteria Analysis for Land-Use Suitability Assessment

ATKIS-DLM25 (generalized) of  
the Dresden Elbe Region

Authorization number of the  
topographic data:  
LVA Saxony  
173/05



Where?

How much?

What kind of  
Utilization?

## Research at the Leibniz Institute IOER

Thinh, N. X.; Walz, U.; Schanze, J.; Ferencsik, I.; Göncz, A. (2004)

Thinh, N. X.; Hedel, R. (2004)

Thinh, N. X.; Hedel, R. (2005)

Thinh, N. X.; Vogel, R. (2006 a b c) [BMBF Project VERIS-ELBE]



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

99

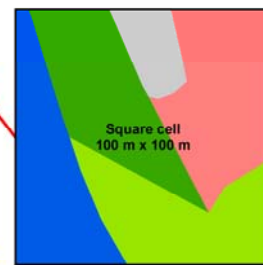


Leibniz  
Gemeinschaft

Where, how much, and for what kind of utilization do we want to use our land?

### ATKIS-DLM25 (generalized) of the Dresden Elbe Region

Authorization number of the topographic data:  
LVA Saxony  
173/05



Leibniz Institute of Ecological and Regional Development, Dresden (IOER)  
Map: R. Vogel



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

100



Leibniz  
Gemeinschaft

## Indicators for land-use suitability assessment for housing

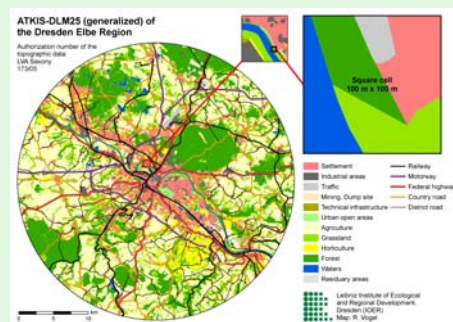
- (1) Distance to existing settlement (D)
  - (2) Accessibility of railway station (D)
  - (3) Accessibility of major road (car travel time to high level centre) (D)
  - (4) Distance to natural areas (P)
  - (5) Distance to surface waters (P)
  - (6) Soil fertility (P)
  - (7) Zones of fresh water resources (P)
  - (8) Naturalness (P)
  - (9) Slope (P)
  - (10) Risk of flooding (P)
  - (11) Fragmentation (P)
- D Demand indicator  
P Pressure indicator

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

101  Leibniz  
Gemeinschaft

## Land-use suitability assessment for housing – How we can do it

- (1) Distance to existing settlement (D)
- (2) Accessibility of railway station (D)
- (3) Accessibility of major road (D)
- (4) Distance to natural areas (P)
- (5) Distance to surface waters (P)
- (6) Soil fertility (P)
- (7) Zones of fresh water resources (P)
- (8) Naturalness (P)
- (9) Slope (P)
- (10) Risk of flooding (P)
- (11) Fragmentation (P)



- ▶ A multiple criteria evaluation task
- ▶ A multiple objective optimization task



Linking GIS-analysis, MCDA-methods and optimization

PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

102  Leibniz  
Gemeinschaft

## The method Compromise Programming (CP)

- First suggested by Milan Zeleny in 1973
- The basic idea of CP:  
To identify compromise solutions which are closest to the ideal point as determined by some measure of distance.
- Mathematical formulation of CP:  
Let be  $O_1, O_2, \dots, O_n$   $n$  objectives to optimize  
 $Z_j^*$  the ideal value for the  $j$ -th objective, and  
 $Z_{*j}$  the anti ideal value for the  $j$ -th objective.  
Any point  $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)^T$  is a compromise solution if

$$L_{pw}(z^*, z) = \left[ \sum_{j=1}^n w_j^p \left| \frac{z_j^* - z_j}{z_j^* - z_{*j}} \right|^p \right]^{1/p} \rightarrow \min!$$

for some choice of weights  $w_j > 0$   
?  $w_j = 1$ , and  $p=1$   
a natural number

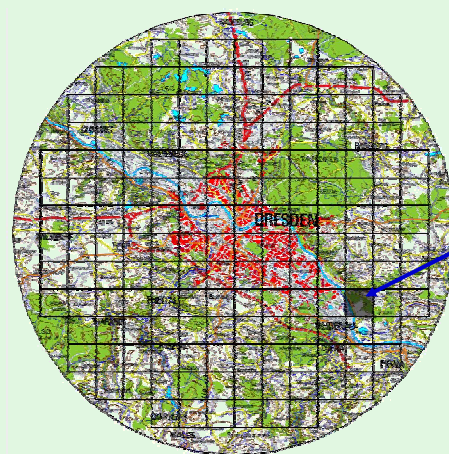
Bestimmung von  $W_j$  mithilfe von AHP



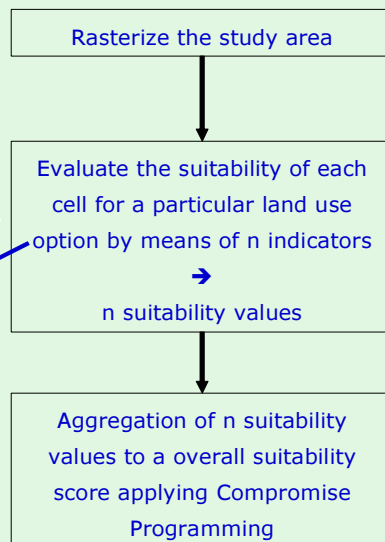
PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

103 Leibniz  
Gemeinschaft

## Idea using CP to the Multiple Criteria Evaluation



LVA Saxony 173/05

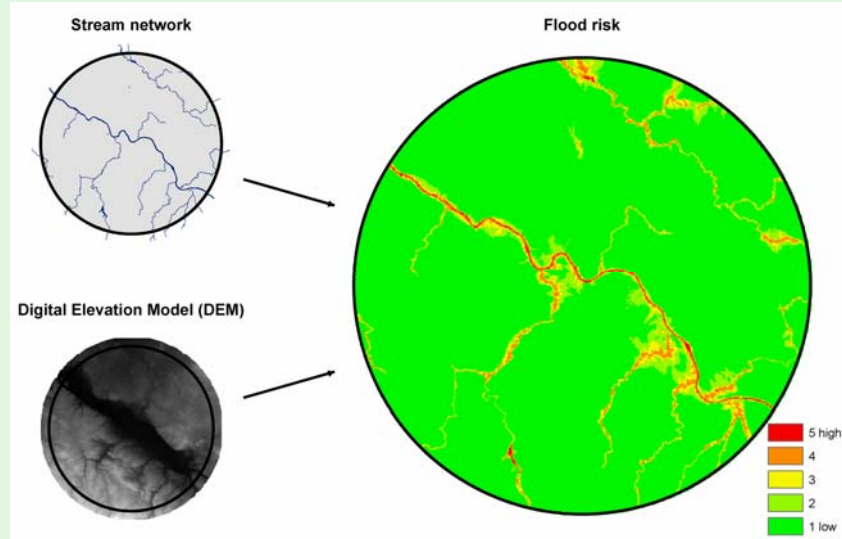


PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

104 Leibniz  
Gemeinschaft



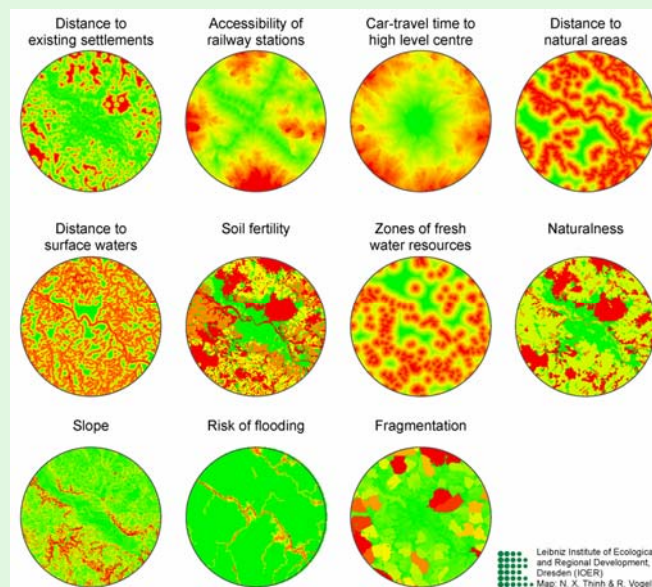
## Generate Grids (raster data) for indicators – the example flood risk



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

105  Leibniz  
Gemeinschaft

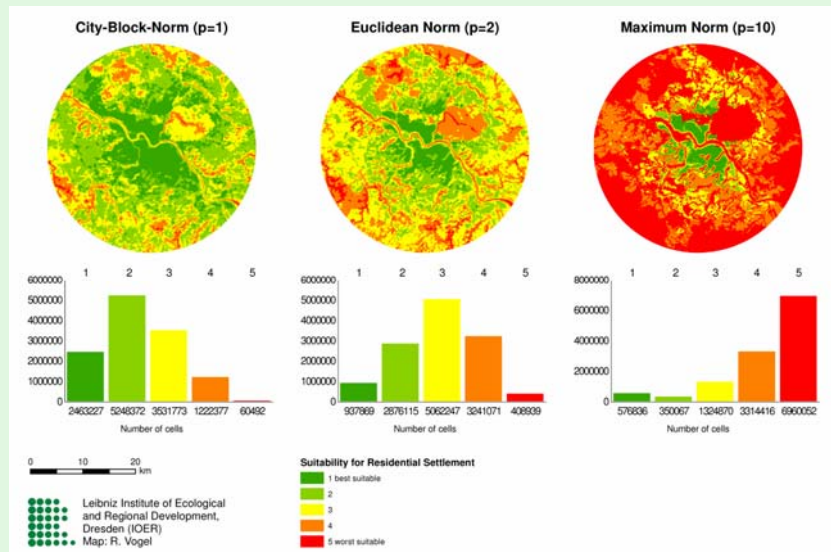
## The Grids for 11 indicators in overview – Land for housing



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

106  Leibniz  
Gemeinschaft

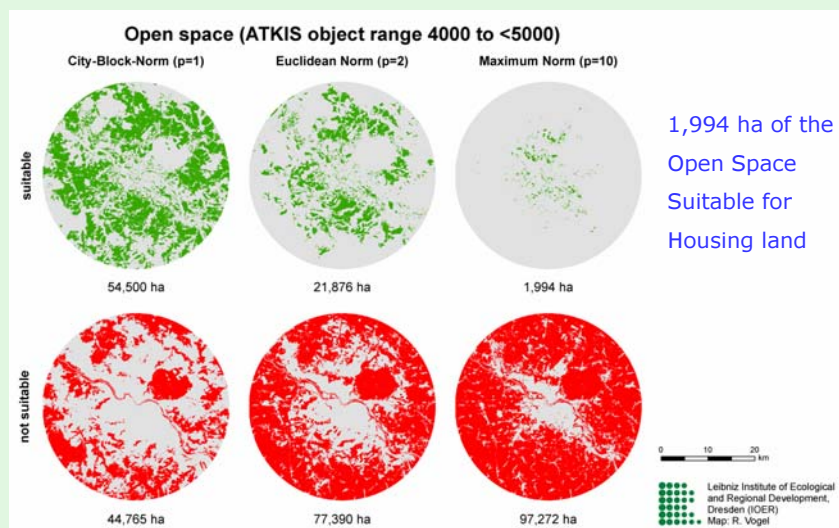
## Land-use suitability assessment for the Dresden Elbe-Region



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

107 Leibniz Gemeinschaft

## Land-use suitability assessment for the Dresden Elbe-Region



PD Dr. rer. nat. habil. N. X. Thinh

108 Leibniz Gemeinschaft



**Integrative Bewertung von Umweltmaßnahmen – Anwendung  
multikriterieller Bewertungsverfahren zur Entscheidungsunterstützung**


**- WORKSHOP -**

In Zusammenarbeit mit:



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



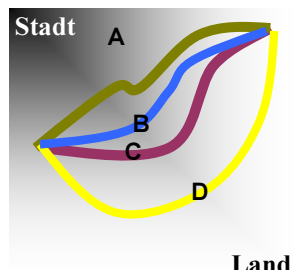


## Problematik komplexer Entscheidungssituationen

Zur Erreichung eines „Oberziels“, z. B. der Verbesserung einer Verkehrsverbindung, werden Alternativen (A, B, C, ... ) identifiziert.

**Zugleich aber viele „Unterziele“:**

- Verringerung der Reisezeit
- Minimierung der Lärmbelastung
- Reduktion der Emissionen
- Verringerung von Stau und Unfallhäufigkeiten
- Wirtschaftliche Effizienz
- Landschaftsbild, Flächenverbrauch, etc.




**Stadt**

**Land**

**Dilemmata in der Praxis:**

- Keine Alternative ist bezüglich aller Merkmale überlegen
- Ungenauigkeit in den Prognosen
- Verschiedene/unbekannte Meinungen bezüglich der Wichtigkeit der Merkmale
- Verschiedene/unbekannte Beurteilung der Wertebereiche



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 110  
Ralf Hedel

## Der Prozess der Bewertung in komplexen Entscheidungssituationen

### Formulierung der übergeordneten Zielstellung

- „Nachhaltige Entwicklung“
- „Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit“
- „Verbesserte Verkehrsverbindung“

### Identifizierung und Charakterisierung der Handlungsalternativen

- Abschätzung potentieller Auswirkungen (Modelle, Simulationen)
- Auswahl relevanter Aspekte erfolgt anhand der Zielstellung

### Präferenzmodellierung:

- intra-kriteriell: Präferenzrichtungen, Grenzwerte, Nutzwertfunktionen
- inter-kriteriell: Kriteriengewichte, Möglichkeit zum Ausgleich (Kompensation)

### Integration von Indikatorenwerten und Präferenzmodell

- Auswahl eines geeigneten Verfahrens ↔ Präferenzmodellierung
- Erarbeitung einer Rangfolge oder Punktwert

### Präsentation der Ergebnisse

- Auswirkungen in tabellarischer Form: Alternative X Indikatorenwert (absolut oder relativ)
- Rangfolge (relativ), Punktwert („Score“) (absolut) – Berücksichtigung der inter-kriteriellen Präferenzen
- Visualisierung der (partialen) Rangfolge – Hasse-Diagramm-Technik



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 111  
Ralf Hedel

## Bisher angewendetes Verfahren: Kosten-Nutzen-Analysen

- Entspricht der Ökonomischen Theorie, entwickelt bereits in den 30-er Jahren des 20. Jahrhunderts für die Bewertung von Wasserstraßenprojekten

- Neben Kosten-Wirksamkeits-Analysen die am häufigsten angewendete Technik zur Bewertung von Handlungsalternativen

- Zusammenfassung aller Kosten und Nutzen einer jeden Alternative zu einer oder mehrerer Kenngrößen, z. B.:

- *Kosten/Nutzen-Verhältnis*

$$\text{Kosten / Nutzen-Verhältnis} = \frac{\sum \text{NutzenBarwert(Bezugsjahr)}}{\sum \text{KostenBarwert(Bezugsjahr)}}$$

- *Net present value (Kapitalwert)*
- *Internal rate of return*

- Verbilligung von Beförderungsvorgängen (NB)
  - NB1 Senkung von Kosten der Fahrzeugverhaltung
  - NB2 Senkung von Kosten des Fahrzeugbetriebs
  - NB3 Transportkostenänderungen durch Aufkommensverlagerungen
- Erhaltung der Verkehrswege (NW)
  - NW1 Erneuerung der Verkehrswege
  - NW2 Instandhaltung der Verkehrswege
- Erhöhung der Verkehrssicherheit (NS)
- Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrtzielen (NE)
- Räumliche Vorteile (NR)
  - NR1 Beschäftigungseffekte aus dem Bau von Verkehrswegen
  - NR2 Beschäftigungseffekte aus dem Betrieb von Verkehrswegen
  - NR3 Beiträge zur Förderung internationaler Beziehungen
- Entlastung der Umwelt (NU)
  - NU1 Verminderung von Geräuschbelastungen
  - NU2 Verminderung von Abgasbelastungen
  - NU3 Verminderung innerörtlicher Trennwirkungen
- Wirkungen des induzierten Verkehrs (NI)
- Verbesserte Anbindung von See- und Flugplätzen (NH)
- Erfüllung verkehrsfördernder Funktionen (NF)
- Investitionskosten (K)

Quelle: BWVP '2003



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 112  
Ralf Hedel



## Kosten-Nutzen-Analysen: Quantifizierung der Kosten und Nutzen?

### A) Marktpreise

- Erstellung/Einrichtung
- Betrieb/Wartung
- Entsorgung

### B) Externe Effekte (Güter, die nicht auf dem Markt gehandelt werden) sind aus ihrer natürlichen Einheit in Geldeinheiten zu konvertieren

- Emissionen
- Stautunden
- Unfallopfer
- ...

Ermittlung erfolgt anhand von:

- Vermeidungskosten, Wiederherstellungskosten
- Empirische Studien anhand der Konzepte „Willingness-to-pay“ (WTP) oder „Willingness-to-accept-compensation“ (WTA)

## Kosten-Nutzen-Analysen: Kritik

### Monetarisierung externer Effekte:

- Konzept der Ermittlung monetärer Werte (WTP, WTA)
- Vernachlässigung von Effekten, die schwierig zu quantifizieren und noch schwerer zu monetarisieren sind (z. B. Landschaftsbild, politische Umsetzbarkeit)
- Bewertungsproblem bei irreversiblen Eingriffen (Biodiversität, Kulturerbe)
- Aufwand der empirischen Studien

### Verrechnung der Kosten und Nutzen:

- Volle Kompensationsmöglichkeit: Unfallopfer vs. Wirtschaftlichkeit?
- Wahl der Diskontierungsrate (3 %, 4 %, 5 %)?


→ **Multikriterielle Verfahren können mit diesen Problemen umgehen!**



**Das Verfahren ELECTRE III zur Bewertung von Verkehrsprojekten**


**Ralf Hedel (DRL-IVF)**

 Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft




**EU-Projekt REORIENT- Revitalisierung des Schienen-  
güterverkehrs entlang eines trans-europäischen Korridors**

- Ziel: Verlagerung von Güterverkehr von der Straße auf die Schiene, insbesondere Entlastung bundesdeutscher Autobahnen vom Transitverkehr
- Entwicklung marktfähiger Angebote
- Aufgabe des DLR: Bewertung dieser Transportdienstleistungen bezüglich ihrer Effekte auf *Umwelt*, *Gesellschaft* sowie der *Wirtschaftlichkeit (mikro/makro)*



Quelle: REORIENT Consortium, 2006

 Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 116  
Ralf Hedel

## Relevante Merkmale der zu vergleichenden Alternativen?

### Gesamtgesellschaftlich im Vergleich zu bisherigem LKW-Transport:

- Verringerung der Transportzeit  
und der Transportkosten
- Emissionen: NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, Feinstaub
- Unfälle: Todesfälle/Schwerverletzte
- Lärmbelastung (Anzahl betroffener Personen)
- Naturschutzgebiete
- Flächeninanspruchnahme im Falle von neu zu errichtender Infrastruktur
- Staureduktion

### + Betriebswirtschaftliche Bewertung

## Auswahl eines geeigneten multikriteriellen Verfahrens

- Hohe Anzahl der Indikatoren
- Unsicherheit in den Eingangsdaten  
(Modellierungen/Simulationen z. B. der Beförderungszeit)
  - *Outranking*-Verfahren (Prävalenzverfahren), gut geeignet um Dominanz in den Alternativen zu identifizieren
  - Innerhalb dieser Verfahrensgruppe ELECTRE III am besten geeignet da:
    - ✓ Einbeziehung von Daten auf verschiedenen Skalenniveaus und Einheiten
    - ✓ Umgang mit Unsicherheit („Indifferenzschwellwert“)
    - ✓ Differenzierter Umgang mit Ausgleich/Trade-off, z. B. um Alternativen mit extremen Werten auszuschließen „Veto“
    - ✓ Vergleichsweise geringe Anforderung im Bereich der Präferenzmodellierung (z. B. im Vergleich mit AHP)

## ELECTRE III - Verfahrensschritte

Paarweiser Vergleich einer jeden Alternative mit jeder anderen:

- ✓ Partieller Konkordanzindex (Test der Hypothese: Option *a* ist bezüglich eines Kriteriums nicht schlechter als Option *b*)
- ✓ Zusammengefasster Konkordanzindex: Integration der partiellen Konkordanzmatrizen unter Zuhilfenahme der Kriteriengewichte
- ✓ Partieller *Diskordanzindex*: Berücksichtigung von Vetos (eine Option *a* ist unakzeptabel schlechter als Option *b*)
- ✓ *Kredibilitätsindex*: Aggregation von Konkordanzmatrizen und Diskordanzindex
- ✓ *Destillation*: Bildung einer Reihenfolge der Alternativen aus dem Kredibilitätsindex

## ELECTRE III - Beispielrechnung

8 Alternativen, 6 Kriterien, Merkmalswerte, Präferenzinformationen:

Kriterien Alternativen	Net present value [Mio €]	Anzahl neuer Arbeitsplätze	Verkürzung der Grenzaufenthalte [h]	Verringerung der Lärmbelastigung [Personen]	Verringerung Emissionen [kg CO <sub>2</sub> -equivalent]	Verringerung der Beschädigungen [ct. €/ton-km]
GVZ	8	1500	1.5	500	25	3
Tracking & tracing System	13	800	0	200	5	5
Workflow- mgmt.-system	12	1400	1	1100	20	4
Upgrade der Schienenwege	5	350	3	0	15	0
Verbesserung des Kundenservices	10	400	1.5	300	23	1
Modernisierung der Lokomotiven	5	200	0.1	100	10	0
Modernisierung der Wagen	6	650	1	600	5	10
Do nothing	7	1000	-2	-2000	-20	-4
Präferenzrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Kriteriengewicht (k)	35 %	25 %	15 %	10 %	10%	5 %
Indifferenzgrenzwert (q)	10 %	10 %	25 %	25 %	25 %	10 %
Signifikanzgrenzwert (p)	15 %	15 %	50 %	50 %	50 %	20 %
Veto (v)	Nicht zugewiesen	Nicht zugewiesen	200 %	150 %	150 %	150 %

## ELECTRE III – Beispielsrechnung

Partieller Konkordanzindex: Je eine Tabelle für jedes Merkmal hier am Beispiel des Merkmals: *net present value*:

$$c_j(aSb) = \begin{cases} 1 & g_j(a) + (q_j(g_j(a)) \geq g_j(b)) \\ 0 & g_j(a) + (p_j(g_j(a)) < g_j(b)) \\ \frac{g_j(a) - g_j(b) + p_j(g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} & \text{sonst: } (q_j(g_j(a)) < g_j(b) \leq (p_j(g_j(a))) \end{cases}$$

$$c_j(aSb) = \frac{7 - 8 + (7 * 0,15)}{(7 * 0,15) - (7 * 0,1)} = 0,143$$

	GVZ	Tracking & tracing System	Workflow mgmt.-system	Upgrade of Schienenwege	Verbesserung des Kundenservice	Modernisierung der Lokomotiven	Modernisierung der Wagen	Do nothing
GVZ	1	0	0	1	0	1	1	1
Tracking & tracing System	1	1	1	1	1	1	1	1
Workflow-mgmt.-system	1	1	1	1	1	1	1	1
Upgrade der Schienenwege	0	0	0	1	0	1	0	0
Verbesserung des Kundenservices	1	0	0	1	1	1	1	1
Modernisierung der Lokomotiven	0	0	0	1	0	1	0	0
Modernisierung der Wagen	0	0	0	1	0	1	1	0
Do nothing	0,143	0	0	1	0	1	1	1



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 121  
Ralf Hedel

## ELECTRE III – Beispielsrechnung

Zusammengefasster Konkordanzindex: Integration der partiellen Konkordanzmatrizen unter Zuhilfenahme der Kriteriengewichte:

$$c(a,b) = \sum_{j=1}^m k_j c_j(a,b) \quad c(a,b) = 0,143 * 0,35 + 1 * 0,15 + 1 * 0,1 + 1 * 0,1 + 1 * 0,05 = 0,45$$

	GVZ	Tracking & tracing System	Workflow mgmt.-system	Upgrade of Schienenwege	Verbesserung des Kundenservice	Modernisierung der Lokomotiven	Modernisierung der Wagen	Do nothing
GVZ	1	0,6	0,5	0,85	0,65	1	0,95	1
Tracking & tracing System	0,4	1	0,4	0,75	0,65	0,75	0,7	0,75
Workflow-mgmt.-system	0,85	0,95	1	0,85	0,85	1	0,95	1
Upgrade der Schienenwege	0,15	0,25	0,217	1	0,186	0,9	0,25	0,4
Verbesserung des Kundenservices	0,6	0,35	0,25	0,85	1	1	0,6	0,75
Modernisierung der Lokomotiven	0	0,25	0	0,5	0	1	0,1	0,4
Modernisierung der Wagen	0,15	0,4	0,2	0,75	0,4	0,9	1	0,4
Do nothing	0,45	0,65	0,4	1	0,65	1	1	1



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 122  
Ralf Hedel

## ELECTRE III – Beispielsrechnung

Kredibilitätsindex: Interpretation von zusammengefasstem Konkordanzindex und Diskordanzindex:

$$p(aSb) = c(aSb) \prod_{\{d_j \in J, d_j(aSb) > c(aSb)\}} \frac{1 - d_j(aSb)}{1 - c(aSb)}$$

$$p(aSb) = 0,5 * \left( \frac{1 - 0,7}{1 - 0,5} \right) = 0,3$$

	GVZ	Tracking & tracing System	Workflow mgmt.-system	Upgrade of Schienenwege	Verbesserung des Kundenservice	Modernisierung der Lokomotiven	Modernisierung der Wagen	Do nothing
GVZ	1	0,6	0,3	0,85	0,65	1	0	1
Tracking & tracing System	0	1	0	0	0	0	0	0,75
Workflow-mgmt.-system	0,85	0,95	1	0	0,85	1	0	1
Upgrade der Schienenwege	0	0	0	1	0	0	0	0,4
Verbesserung des Kundenservice	0	0	0	0,85	1	1	0	0,75
Modernisierung der Lokomotiven	0	0	0	0	0	1	0	0,4
Modernisierung der Wagen	0	0,4	0	0	0	0,9	1	0,4
Do nothing	0,45	0,65	0,4	1	0,65	1	1	1



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 123  
Ralf Hedel

## ELECTRE III – Vorgehensweise

Ergebnis der Destillation: Rangfolge

Rangfolge top-down						
6	5	4	3	2	1	
					Workflow mgmt.-system	1
				GVZ		2
		Wagen	Do nothing			3
		Kunden-service				4
	Tracking & tracing system AND Railtracks					5
Lokomotiven						6

Rangfolge  
bottom-up

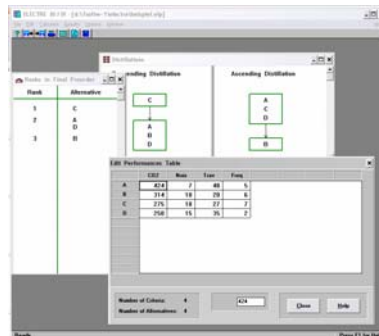


Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 124  
Ralf Hedel

## ELECTRE III – Software: Universität Poznan

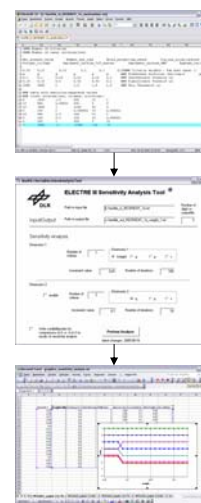
- + graphische Benutzeroberfläche
- keine Möglichkeit zur Durchführung systematischer und stochastischer Sensitivitätsanalysen




## ELECTRE III – Software: Eigenentwicklung am DLR

Durchführung der Bewertung:

1. Eingangsdaten als ASCII-Datei einlesen  
(Alternativen, Merkmale, Grenzwerte,  
Kriteriengewichte, Präferenzrichtung)
2. Ausführung der Bewertung einschließlich  
Sensitivitätsanalyse in der Software
3. Interpretation und Präsentation der Ergebnisse in  
Tabellenkalkulationssoftware





## ELECTRE III – Zusammenfassung

- Verfahren ELECTRE III ist sehr gut geeignet, wenn geringe Kenntnisse über Präferenzen vorhanden sind
- Berücksichtigung von Datenunsicherheit möglich
- Möglichkeit des Ausgleiches kann ausgeschlossen werden
- Zahlreiche Schritte, daher Softwareunterstützung für die meisten Anwendungen notwendig, insbesondere für Sensitivitätsanalysen



## Teilnehmer und Vortragende

### **Dietrich Bangert**

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin  
Email: dietrich.bangert@senstadt.verwalt-berlin.de

### **Dipl.-Math. techn. Valentin Bertsch**

Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle  
Produktion  
Email: valentin.bertsch@wiwi.uni-karlsruhe.de

### **Dipl.-Ing. Thomas Böhrer**

Technische Universität Dresden  
Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung  
Email: thomas.boehmer@mailbox.tu-dresden.de

### **Heinz Brandl**

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin  
Programmplan Gesamtstädtische Ausgleichs-  
konzeption  
Email: heinz.brandl@senstadt.verwalt-berlin.de

### **Brigitte Brandt**

Stadtverwaltung Potsdam  
Bereich Umwelt und Natur  
Email: Brigitte.Brandt@rathaus.potsdam.de

### **Dipl.-Ing. Vera Conrad**

Bergische Universität Wuppertal  
Fachbereich Bauingenieurwesen - Straßenverkehrs-  
planung und Straßenverkehrstechnik  
Email: vconrad@uni-wuppertal.de

### **Dr. Martin Drechsler**

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle  
Department Ökologische Systemanalyse  
Email: martin.drechsler@ufz.de

### **Dipl. Geogr. Ralf Hedel**

DLR - Institut für Verkehrsforschung  
Email: ralf.hedel@dlr.de

### **Herr Jamel**

Universität Potsdam  
Institut für Geographie

### **Dipl.-Volksw. Gunnar Knitschky**

DLR - Institut für Verkehrsforschung  
Email: gunnar.knitschky@dlr.de

### **Prof. Dr. Barbara Lenz**

DLR - Institut für Verkehrsforschung  
Email: barbara.lenz@dlr.de

### **Dipl.-Ing. Andreas Lischke**

DLR - Institut für Verkehrsforschung  
Email: andreas.lischke@dlr.de

### **Prof. Dr. Harald A. Mieg**

Humboldt-Universität zu Berlin  
Geographisches Institut  
Email: harald.mieg@env.ethz.ch

### **Lennart Mohr**

Humboldt-Universität zu Berlin  
Geographisches Institut  
Email: lennart.mohr@gmx.de

### **Dr.-Ing. Jürgen Müller**

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin  
Email: juergen.mueller@senstadt.verwalt-berlin.de

### **Jörg Nielsen**

DLR - Institut für Verkehrsforschung  
Email: joerg.nielsen@dlr.de

### **Dipl.-Psych. Tobias Schröder**

Humboldt-Universität zu Berlin  
Lehrstuhl f. Organisations- und Sozialpsychologie  
Email: tschroeder@psychologie.hu-berlin.de

### **Dipl. Geogr. Daniela Schüller**

Humboldt Universität zu Berlin  
Geographisches Institut  
Email: daniela.schueller@geo.hu-berlin.de

### **Frau Schwarz**

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin

### **Dipl.-Bio. Anne Simang**

Freischaffende Biologin  
Email: anne.simang@yahoo.de

### **Dr. Michael Stauffacher**

ETH Zürich  
Institut f. Mensch-Umwelt-Systeme  
Email: michael.stauffacher@env.ethz.ch

### **PD Dr. habil. Nguyen Xuan Thinh**

Leibniz-Institut für Ökologische Raumentwicklung  
Dresden (IÖR)  
Abteilung Zentrale Aufgaben und Geoinformation  
Email: ng.thinh@ioer.de

### **Dipl.-Ing. Rico Vogel**

Leibniz-Institut für Ökologische Raumentwicklung  
Dresden (IÖR)  
Abt. Zentrale Aufgaben und Geoinformation  
Email: r.vogel@ioer.de